Obsah

Seznam tabulek

Seznam obrázků

1 Úvod a obecný popis elektrárny

1.1 Úvod

Provozovatel Jaderné elektrárny Dukovany (EDU) společnost ČEZ, a. s., po 30 letech jejího provozu v roce 2015 zpracoval aktualizaci Předprovozní bezpečnostní zprávy (PpBZ), která je v pořadí 2. revizí zprávy vydané k žádosti o povolení zahájení provozu elektrárny v roce 1985. K průběžnému zajištění aktuálnosti PpBZ EDU jsou při úpravách projektového řešení elektrárny vydávány roční aktualizace, které byly za 10leté období uplynulé od předcházející aktualizace shrnuty do revize 2. Uvedená 2. revize PpBZ EDU byla klíčovým podkladem pro zpracování předkládané Veřejné bezpečnostní zprávy.

PpBZ EDU revize 2 je zpracovaná jako jednotná zpráva pro všechny bloky EDU, zohledňuje však blokové odlišnosti. Uspořádání bezpečnostní zprávy se v průběhu přípravy stavby EDU, výstavby a provozu měnilo. Původní uspořádání bezpečnostních zpráv odpovídalo metodice vydané bývalou Československou komisí pro atomovou energii (ČSKAE) platné v době jejich zpracování a po uvedení EDU do provozu bylo změněno na uspořádání odpovídající celosvětově používanému standardu US NRC RG 1.70.

Aktuální platná PpBZ EDU revize 2 zahrnuje zohlednění všech relevantních bezpečnostních aspektů implementace nového typu paliva s vyhořívajícím absorbátorem gadolinium (Gd-2M), zvýšení tepelného výkonu všech reaktorů EDU na 1444 MW, včetně všech souvisejících změn vyplývajících z realizace stavby „Využití projektových rezerv bloků EDU (VPR)“. Pro aktualizaci PpBZ EDU rev.2 byly využity podklady zpracované ke změně projektového řešení související s využitím projektových rezerv a hodnocení, prověrky a posudky dopadů této změny do systémů primární části a vybraných systémů sekundární části, včetně stanovení hlavních parametrů bloku pro provoz po realizaci projektu VPR. Součástí podkladů byla i dokumentace zpracované OKB Gidropress jako autora původního projektu, výsledky prací ÚJV Řež, divize Energoprojekt Praha jako generálního projektanta pro celou stavbu využití projektových rezerv, podklady zpracované pro licencování gadoliniového paliva a výsledky prací dalších odborných ústavů a organizací podílejících se na přípravě licenční a bezpečnostní dokumentace.

Tato Veřejná bezpečnostní zpráva byla vypracovaná společností Amec Foster Wheeler a ÚJV Řež, divize Energoprojekt Praha ve spolupráci s experty útvaru jaderná bezpečnost společnosti ČEZ, a. s.

1.1.1 Základní charakteristiky EDU

Projektové řešení EDU jaderné části odpovídá II. generaci projektů reaktorového zařízení, které je v současnosti nejrozšířenějším technickým řešením provozovaných jaderných elektráren ve světě.

EDU se nachází v okrese Třebíč cca 3 km od obce Dukovany. Areál se rozkládá na ploše cca 100 ha, hlavní objekty elektrárny se nachází v nadmořské výšce 389 m n. m. na plošině vytvořené úpravou původního terénu. Areál EDU se nachází 27 km od okraje města Brna a nejbližší vzdušná vzdálenost hranice s Rakouskem je 35 km.

Areál EDU a podstatná část jeho okolí se nachází v Českém masivu, dále do regionu s poloměrem 300 km zasahují alpsko-karpatské pohoří a Panonská pánev. Geologická skladby regionu byla opakovaně podrobně posouzena a projekt EDU plně odpovídá požadavkům na zakládání a seismické zatížení na použitém staveništi.

V územním systému ekologické stability je nejbližším významným objektem národní přírodní rezervace Mohelenská hadcová step. V údolí řeky Jihlavy je určený nadregionální biokoridor, v údolí Rokytné regionální biokoridor. Jako regionální biocentra jsou určeny Kramolínské bučiny a středoevropsky významná již uvedená Mohelenská hadcová step.

Areál EDU se nachází na rozvodí řek Jihlavy a Rokytné. Severní část okolí EDU je odvodněna do nádrže Mohelno na Jihlavě, jižní část do říčky Olešná, která je přítokem řeky Rokytné, ta je následně přítokem řeky Jihlavy. Odtok z povodí Jihlavy dále probíhá řekou Dyjí, Moravou a následně Dunajem do Černého moře.

Odběr vody pro EDU je uskutečněn ze spodní nádrže Mohelno na Jihlavě, do které je současně vypouštěna i odpadní voda. Jakost odpadních vod je sledována oddělené pro vody průmyslové, splaškové a dešťové.

Elektrárna má dopravní napojení silniční ze silnice II/152 a železniční síť vlečkou z přípojné stanice Rakšice na trati Moravský Krumlov – Brno, k dispozici je i lokální heliport.

Nadmořská výška staveniště EDU vylučuje riziko jeho zaplavení z vodního toku – nádrž Dalešice na řece Jihlavě vzdálená od EDU 1 km má maximální hladinu na kotě 381,50 m. Záplavu staveniště přívalovým deštěm omezuje umístění elektrárny na horní části lokální náhorní plošiny, která je odvodňována jako nejvyšší plocha do níže položených okolních ploch. Ochrana proti zaplavení podzemních objektů EDU je vyřešena projektem (např. poklopy kabelových kanálů jsou na soklech s převýšením nad terénem). Zaplavení čerpací stanice na řece Jihlavě by byla událost s vlivem na výrobu elektrárny avšak jaderná bezpečnost by byla zajištěna.

Napojení na elektrizační soustavu je realizováno přes rozvodnu Slavětice, do které jsou zaústěna 400 kV vedení k vyvedení výkonu a jsou zde napojena i 2 vedení 110 kV k zajištění rezervního napájení vlastní spotřeby.

Umístění areálu elektrárny vyhovuje bez výjimek všem současným požadavkům na umístění jaderného zařízení tohoto typu podle vyhlášky SÚJB č. 215/1997 Sb. o kritériích na umísťování jaderných zařízení jak je prokázáno v dílu 2 této Veřejné bezpečnostní zprávy.

EDU je tvořena 4 reaktorovými bloky, které jsou řešeny ve formě dvou dvoubloků. Každý blok má svoji vlastní reaktorovou budovu, ve které jsou umístěna především reaktor, primární okruh, zařízení na výrobu páry dále pak budovu příčné etažérky s blokovou dozornou a řídícími a elektrickými systémy a příslušnou částí podélné etažérky s nezávislými systémy řízení a napájení a částí potrubních tras. Centrální čerpací stanice, strojovna, budova pomocných provozů a některé další pomocné zařízení jsou společné pro dvojblok.

Primární okruh EDU zahrnuje reaktor a šest cirkulačních smyček; v každé z nich je horizontální parogenerátor, hlavní cirkulační čerpadlo, uzavírací armatury s elektropohonem a spojovací potrubí o vnitřním průměru 500 mm.

Zařízení na výrobu páry bloku EDU tvoří heterogenní tlakovodní energetický reaktor označený jako VVER 440, typ V 213č, v současnosti o nominálním tepelném výkonu 1444 MW (podle původního projektu byl 1375 MW). Tlaková nádoba reaktoru a primární okruh jsou navrženy pro přetlak 13,729 MPa při teplotě 350°C, přičemž nominální parametry chladiva na výstupu z reaktoru činí 12,261 MPa a 297,2°C. Aktivní zónu reaktoru tvoří 47,0 t jaderného paliva, oxidu uraničitého. Jako chladivo a moderátor reaktoru se použita voda s obsahem kyseliny borité, která se spolu s určenými výsuvnými palivovými kazetami podílí na regulaci výkonu aktivní zóny jaderného reaktoru.

V parních generátorech se vyrábí pára o přetlaku 4,751 MPa a teplotě 260,7°C, která pohání dvojici parních turbín o jmenovitém elektrickém výkonu 2 x 255 MW.

Zařízení primárního okruhu je umístěno v hermetické ochranné obálce, která zabraňuje úniku radioaktivních látek do okolí při porušení integrity primárního okruhu. Ochranná obálka se skládá z železobetonových stěn s výstelkou z ocelového plechu, které oddělují všechny hermetické prostory od okolí. Ochranná obálka oddělující zařízení na výrobu páry od okolí je navržena na výpočtový přetlak 0,150 MPa a na teplotu 127°C, které s ohledem na systém potlačení tlaku (barbotážní systém) nebudou překročeny ani při maximální havárii uvažované projektem – náhlé úplné příčné roztržení potrubí studené hlavní cirkulační smyčky primárního okruhu s průřezem DN 500 mm.

Výstavba EDU byla zahájena v roce 1979, 1. blok byl uveden do provozu v roce 1985, zbývající tři bloky pak v rozmezí let 1986-1987.

Z hodnocení vlivu normálního provozu EDU a rovněž z výsledků bezpečnostních rozborů s výpočty radiologických důsledků nehod na okolí, včetně maximální projektové nehody, vyplývá, že nejvyšší dávky na obyvatelstvo jsou jak pro případ normálního provozu, tak i při haváriích nepřevyšují stanovené limity a mezní přípustné hodnoty ve smyslu platných legislativních předpisů. Radiační vliv na okolí je v porovnání s jinými bloky ve světě nízký a

hluboko pod stanovenými limity, což svědčí o vysoké kvalitě projektu i provozu. V oblasti omezování dávek pro personál patří EDU mezi nejlepší elektrárny na světě.

Z provedeného hodnocení zbytkové životnosti bezpečnostně významných systémů a komponent EDU vyplývá, že jsou splněny veškeré předpoklady pro bezpečný provoz po dobu minimálně následujících 10 let tedy do roku 2025, aniž by byla negativně ovlivněna dosažená úroveň zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany. Kontinuálně je realizován program obnovy zařízení s cílem zajistit provozuschopnost EDU při splnění požadavků na jadernou bezpečnost a radiační ochranu i na další období do roku 2035.

1.2 Cíle a principy řízení bezpečnosti v jaderné elektrárně

Jaderná elektrárna musí být navržena a provozována tak, aby po celou fázi životního cyklu bylo zajištěno splnění obecného bezpečnostního cíle, kterým je chránit osoby, společnost a životní prostředí před nežádoucími účinky ionizujícího záření, které v důsledku využití štěpné řetězové reakce při provozu jaderné elektrárny nevyhnutelně vzniká.

Pro dosažení co nejvyšší rozumně dosažitelné úrovně bezpečnosti je zapotřebí následujících základních bezpečnostních cílů:

- zabránit nekontrolovanému ozáření osob a uvolnění radioaktivních látek do životního prostředí,
- minimalizovat pravděpodobnost vzniku takových událostí, které by mohly vést ke ztrátě kontroly nad aktivní zónou reaktoru, nad štěpnou řetězovou reakcí, radioaktivním zdrojem nebo jakýmkoli jiným zdrojem záření,
- v případě vzniku takovýchto událostí zvládnout je tak, aby byly minimalizované jejich následky.

Pro dodržení základních bezpečnostních cílů musí být jaderná elektrárna realizovaná a provozovaná v trvalém souladu s platnou legislativou České republiky a se základními všeobecně platnými mezinárodně bezpečnostními požadavky relevantními pro jadernou technologii. Za tyto požadavky se v praktické aplikaci pro EDU považují:

- zákony a prováděcí právní předpisy České republiky, včetně mezinárodních smluv a konvencí, kterými je Česká republika vázána,
- platné bezpečnostní standardy a požadavky Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA) a tona úrovni základních bezpečnostních standardů a dokumentů označených jako bezpečnostní požadavky IAEA a v maximálně možné aplikovatelné míře bezpečnostní požadavky sdružení západoevropských dozorů nad jadernou energetikou (WENRA) stanovené v aktuálním znění dokumentu WENRA: Safety Reference Levels for Existing Reactors (2014).

1.2.1 Terminologie jednotlivých stavů jaderné elektrárny

Jaderné elektrárna je projektována pro normální provoz i pro nestandardní přechodové stavy a havárie různých úrovní. Pro vyjasnění terminologie jsou dokumentem IAEA SSR2/1 Safety of Nuclear Power Plants, Design (2012) nastavena pravidla, která jednotlivé stavy popisují. Základní shrnutí je uvedeno v následující tabulce:

Tab. 1. Terminologie dle IAEA SSR2/1.

Provozní stavy		Havarijní podmínky		Prakticky vyloučené podmínky
Normální provoz	Abnormální provoz	Projektová havárie (základní projektové nehody DBA)	Havárie v podmínkách rozšířeného projektu (DEC)	

Provozní stavy

Stavy elektrárny zahrnující normální a abnormální provoz.

Normální provoz

Všechny stavy a plánované operace provozu jaderného zařízení, při kterých jsou dodrženy Limity a podmínky bezpečného provozu jaderného zařízení; jsou to zejména manipulace a skladování jaderného paliva, uvádění reaktoru do kritického stavu, ustálený provoz, změny výkonu a přechodové stavy, odstavování, údržba, opravy a výměna paliva.

Abnormální provoz

Stavy, podmínky a události, odkloňující se od normálního provozu, jejichž výskyt lze při provozu jaderného zařízení očekávat a které nevedou vzhledem k projektovým opatřením k poškození zařízení důležitých pro jadernou bezpečnost anebo k havarijním podmínkám.

Havarijní podmínky

Odchylky od normálního provozu, které jsou méně časté ale závažnější než očekávané provozní události a které zahrnují všechny projektové havárie (DBA) a havárie v podmínkách rozšířeného projektu (DEC).

Projektová havárie (základní projektové nehody- DBA)

Havárie, která způsobí havarijní podmínky, na které je elektrárna projektována v souladu s obvyklými kritérii projektu a pro které jsou úniky RA látek udržovány v přijatelných mezích.

Havárie v podmínkách rozšířeného projektu - (DEC dříve BDBA – Beyond Design Basis Accident)

Havarijní podmínky, které nejsou považovány za projektové havárie, ale které jsou uvažovány v procesu projektování zařízení s použitím best-estimate metodiky, a při kterých jsou úniky RA látek udržovány v přijatelných mezích. Havárie v podmínkách rozšířeného projektu zahrnují i stav těžké havárie (Severe Accident), které nemohou být prakticky vyloučeny.

Prakticky vyloučené podmínky

Prakticky vyloučené podmínky jsou takové podmínky, stavy či události, jejichž výskyt je považován za prokazatelně fyzikálně nemožný nebo které jsou s vysokým stupněm věrohodnosti velmi nepravděpodobné.

Řízený stav

Stav elektrárny, který následuje po očekávané provozní události nebo havarijních podmínkách, přičemž základní bezpečnostní funkce jsou plněny a který lze udržet dostatečně dlouhou dobu k implementaci opatření k dosažení bezpečného stavu.

Bezpečný stav

Stav elektrárny, který následuje po očekávané provozní události nebo po havarijních podmínkách při kterém je reaktor podkritický, základní bezpečnostní funkce jsou plněny a je tento stav je možno udržet po dlouhou dobu.

1.2.2 Definice bezpečnostních cílů provozovatele JE Dukovany

Politika bezpečnosti provozovatele JE Dukovany společnosti ČEZ, a.s. je realizována naplňováním následujících stanovených bezpečnostních cílů a dodržováním řady bezpečnostních principů, které jsou uplatňovány odstupňovaným přístupem v závislosti na

závažnosti rizika a závažnosti možných následků. Tyto bezpečnostní cíle jsou stanoveny ve vrcholovém dokumentu společnosti (Politika bezpečnosti), jsou závazné pro všechny oblasti činnosti související s využíváním jaderné energie a respektují a zohledňují všechny rozhodující mezinárodní požadavky na bezpečnostní cíle při provozu jaderných zařízení.

Jaderná bezpečnost

Dosáhnout náležitých provozních podmínek, předcházet nehodám/haváriím a zmírňovat jejich následky s cílem chránit pracovníky a obyvatelstvo před riziky ionizujícího záření pocházejícího z jaderného zařízení.

Radiační ochrana

Nastavit systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzických osob a k ochraně životního prostředí.

Technická bezpečnost

Zajistit schopnost neohrožovat za stanovených podmínek jeho provozu lidské zdraví a majetek po celou dobu jeho životnosti a zajistit trvalou shodu s technickými požadavky, které jsou obsaženy v prováděcím právním předpisu nebo jiné závazné specifikaci pro vybrané zařízení.

Požární ochrana

Minimalizovat pravděpodobnost vzniku a šíření požáru a případné následky omezit na nejnižší přijatelnou úroveň.

Fyzická ochrana jaderných materiálů a jaderných zařízení

Nastavit systém technických a organizačních opatření zabraňujících neoprávněným činnostem s jadernými zařízeními, jadernými materiály a vybranými položkami.

Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

Minimalizovat negativní dopady působení pracovních a výrobních procesů na zdraví zaměstnanců a ostatních osob.

Ochrana životního prostředí

Minimalizovat negativní dopady působení pracovních a výrobních procesů na životní prostředí.

Havarijní připravenost

Cílem havarijní připravenosti je zajistit prevenci vzniku mimořádných událostí, schopnost rozeznat vznik a závažnost mimořádných událostí, zmírnit jejich průběh a na nejmenší možnou míru omezit dopady na zdraví zaměstnanců a obyvatelstva v okolí JE.

1.2.2.1 Základní principy řízení bezpečnosti

Podle současné mezinárodní praxe definované standardem IAEA SF-1 Fundamental Safety Principles (2006) existuje 10 základních principů řízení bezpečnosti, z nichž pro praktické řízení bezpečnosti v podmínkách normálního provozu jaderného zařízení jsou nejdůležitější první 3 principy. Všech 10 principů je uplatněno v legislativní předpisech ČR a jsou provozovatelem EDU aplikovány do všech činností souvisejících s provozem elektrárny. Uplatnění těchto principů vytváří základní rámec pro bezpečný provoz EDU. Jedná se o následující principy:

Kultura bezpečnosti

Činnost a vzájemné vztahy všech jednotlivců a organizací zabývajících se činnostmi souvisejícími s jadernou energií se řídí principy kultury bezpečnosti. Kultura bezpečnosti je takový soubor postojů a charakteristik organizací i jednotlivců, který zajišťuje, že problémům bezpečnosti jaderných elektráren je věnována ta nejvyšší priorita, jakou si jejich významnost zasluhuje.

Odpovědnost provozovatele

Nedělitelnou odpovědnost za bezpečnost jaderné elektrárny má provozující organizace. Tato odpovědnost není v žádném případě snížena oddělenými činnostmi a odpovědnostmi projektantů, dodavatelů, stavebníků a orgánů dozoru.

Státní dozor a nezávislé ověřování

Vláda ustavuje legislativní základnu pro jadernou energetiku a nezávislý orgán státního dozoru, který je odpovědný za schvalování a dozor jaderných elektráren a za prosazování platných předpisů. Existuje jasné oddělení odpovědnosti státního dozoru od kontrolovaných organizací a tak si dozorný orgán zachovává svoji nezávislost jako bezpečnostní autoritu a je chráněn před nežádoucími tlaky.

Odůvodněnost zařízení a činností

Každá praktická činnost, zahrnující v sobě vystavení riziku ozáření, by měla vytvářet dostatečný přínos osobám vystaveným ozáření, nebo společnosti, který by vyvažoval újmu způsobenou ozářením (odůvodnění praktické činnosti). Každé rozhodnutí, kterým se mění radiační expoziční situace, by mělo způsobit více užitku než škody.

Optimalizace ochrany

Bezpečnostní opatření aplikovaná na zařízení a činnosti, které zvyšují radiační riziko, jsou považovány za optimalizované, pokud poskytují maximální možnou úroveň bezpečnosti, které je možné rozumně dosáhnout v průběhu života zařízení nebo činnosti aniž by nadměrně limitovaly jeho využití. Aby bylo možné určit, zda je radiační riziko tak nízké, jak je za daných podmínek rozumně dosažitelné, je nutné tato rizika vyvstávající z normálního nebo abnormálního provozu, či havarijních podmínek nejprve vyhodnotit a následně je pravidelně přehodnocovat v průběhu života jaderného zařízení.

Omezení rizika pro jednotlivce

Odůvodnění a optimalizace ochrany samy o sobě nemusí vždy a za všech okolností zaručovat dostatečnou ochranu jedince před radiačním rizikem a tudíž je nutné dávky a radiační rizika limitovat. Naproti tomu dávkové limity představují legislativní horní hranici přijatelnosti, a tedy rovněž samy o sobě nezaručují nejlepší rozumně dosažitelnou úroveň bezpečnosti za daných podmínek. Kombinace dávkových limitů a optimalizace ochrany je tedy nezbytná pro dosažení požadované úrovně ochrany jedince.

Ochrana stávající a budoucích generací

U radiačních rizik je třeba brát vždy do úvahy a zohledňovat, že mohou překonávat mezinárodní hranice a mohou přetrvávat po dlouhé časové úseky. Při posuzování adekvátnosti opatření pro regulaci radiačních rizik je tedy nutné uvažovat současné i budoucí dopady stávajících činností. Především je nutno brát v úvahu:

- Bezpečnostní normy se nevztahují pouze na lokální obyvatelstvo, ale také na obyvatelstvo vzdálené od jaderného zařízení.
- Tam, kde by účinky mohly trvat několik generací, musejí být následující generace náležitě chráněny, aniž by samy musely provést významná ochranná opatření.

Současný systém radiační ochrany zajišťuje ochranu ekosystémů v lidském prostředím před škodlivými účinky při vystavení radiaci. Cílem toho opatření je chránit ekosystémy před vystavením radiaci, aby se zabránilo nepříznivým dopadům na celé populace druhu (ne pouze jedince).

S radioaktivními odpady musí být zacházeno tak, aby nevznikalo přílišné břemeno pro nadcházející generace. Množství radioaktivního odpadu musí být udržováno na minimální dosažitelné hodnotě při využití vhodných konstrukčních opatření a procesů, jako například recyklace a znovuvyužití materiálu.

Prevence havárií

Ztráta kontroly nad aktivní zónou jaderného reaktoru, nad jadernou řetězovou reakcí, nebo nad jiným zdroje radioaktivity má zá následek nejzávažnější dopady jaderného zařízení. Proto, aby bylo zajištěna pravděpodobnost, že nehoda bude mít škodlivé následky, byla velmi nízká, je nutné zavést následující opatření:

- Zabránit poruchám, nebo abnormálním podmínkám (včetně prolomení ochrany), které mohou vést ke ztrátě kontroly;
- Zabránit dalšímu rozvoji poruch nebo abnormálních podmínek, které se vyskytují;
- Zabránit ztrátě, nebo ztrátě kontroly nad radioaktivním zdrojem nebo nad zdrojem radioaktivního záření.

Primárním prostředkem k zabránění a ke zmírnění následků havárie je ochrana do hloubky. Pokud je správně realizována, ochrana do hloubky zajišťuje velmi nízkou pravděpodobnost toho, že technické, lidské nebo organizační selhání povede ke škodlivým dopadům, nebo že kombinace těchto selhání způsobí zhoršení škodlivých dopadů havárie. Základní principy ochrany do hloubky jsou popsány v kapitole 1.2.2.2.

Havarijní připravenost

Primární cíle havarijní připravenosti na radiační havárii jaderného zařízení jsou:

- Zajistit, že jsou zavedena opatření pro efektivní reakci na radiační havárii v místě události a stejně tak na lokální, regionální, národní a mezinárodní úrovni;
- Zajistit, že pro rozumně předvídatelné události budou radiační rizika minimální;
- Provést praktická opatření k minimalizaci jakýchkoliv následků na lidské životy a zdraví a životní prostředí, v případě jakékoliv události, která nastane.

Držitel licence, provozovatel, regulátor a příslušné vládní orgány musí předem zajistit opatření pro havarijní připravenost na radiační havárii v místě události, na lokální, regionální a národní úrovni, a tam kde tak bylo dohodnuto mezi státy i na mezinárodní úrovni. Rozsah opatření pro havarijní připravenost musí odrážet:

- Pravděpodobnost a možné následky radiační havárie;
- Charakteristiky radiačního rizika;
- Povahu a umístění jaderného zařízení.

Při vytváření plánů havarijní připravenosti, je nutné brát v úvahu všechny možné události, které mohou nastat a dále je nutné provádět pravidelné cvičení havarijní připravenosti, aby bylo zajištěna připravenost příslušných organizací.

Ochranná opatření pro snížení existujících a neregulovaných radiačních rizik

Radiační rizika mohou vyvstat v případech, které nesouvisí s jaderným zařízením a nejsou regulovány příslušným orgánem. Pokud je v takovém případě radiační riziko relativně vysoké, je nutné zvážit, zda mohou být přijata rozumně dosažitelná ochranná opatření ke snížení vystavení radiaci a odvrácení závažných následků. Mezi tyto rizika patří radiace přírodního původu (např. radon v budovách), radiace z předchozích lidských činností, které nebyly regulovány (např. radioaktivní pozůstatky po těžební činnosti) a nápravná opatření při nekontrolovaném úniku radionuklidů do životního prostředí.

Ve všech případech s sebou nesou ochranná opatření určité ekonomické, sociální a environmentální náklady. Ochranná opatření jsou považována za oprávněná, pokud jejich přínos převáží radiační rizika a další škody spojené s jejich provedením.

Základní vazbu mezi uvedenými definicemi a principy, použitými k jejich naplnění, shrnuje následující tabulka:

Tab. 2. Vazba mezi cíli a principy bezpečnosti[1]

Cíle	Cíl jaderné bezpečnosti	Cíl radiační bezpečnosti	Cíl technické bezpečnosti
Základní principy řízení bezpečnosti	Kultura bezpečnosti	Odpovědnost organizace provozovatele	Nezávislé ověření a kontrola státním dozorem
Základní principy ochrany do hloubky	Ochrana do hloubky	Prevence nehod	Zmírnění následků nehod

[1] Safety Series No. 75-INSAG-3 rev.1 (INSAG 12, 1999) "Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants", 1988

1.2.2.2 Základní principy ochrany do hloubky

Koncepce ochrany do hloubky (Defense in Depth – dále DiD) je nastavení systému technických prostředků a organizačních opatření (předpisů), který zajišťuje jadernou bezpečnost elektrárny ve všech provozních režimech. Provozní režimy jsou definovány fyzikálními parametry jaderného paliva a technologických systémů (výkonový/nevýkonový provoz a výměna paliva), přičemž smyslem všech těchto prostředků je udržení celistvosti projektových bariér proti úniku radioaktivní (RA) látek. V závislosti na možných scénářích vývoje situace je v jednotlivých úrovních ochrany do hloubky definována možnost poškození těchto bariér. Primárním cílem je vždy prevence poškození příslušné bariéry, tedy projektování a použití takových prostředků, aby k narušení dané bariéry v příslušné úrovni DiD nedošlo. Sekundárním cílem DiD (avšak stejné důležitosti) je zmírnění radiačních následků, pokud k porušení dané bariéry dojde, a tím zajištění ochrana bariéry další.

V projektu reaktoru VVER 440 (JE Dukovany) jsou použity 4 základní bariéry, podobně jako v jiných reaktorech typy PWR. Tyto 4 bariéry jsou primárně koncipovány pro zajištění ochrany před únikem RA látek z jaderného paliva při výkonovém provozu:

První ochranná bariéra je tvořena chemickou a fyzikální strukturou tablet jaderného paliva, které má charakter keramiky a je ve vodě nerozpustné.

Druhá ochranná bariéra je tvořena pokrytím palivového proutku, které je provedeno tenkostěnnou zirkoniovou trubkou a je hermeticky utěsněno.

Třetí ochranná bariéra je tvořena tlakovou hranicí primárního okruhu a odděluje primární chladivo od chladiva sekundárního i od okolní atmosféry v hermetické obálce.

Čtvrtá ochranná bariéra je tvořená ochrannou hermetickou obálkou (kontejnmentem), ve které je uzavřen primární okruh s vysokotlakým a horkým primárním chladivem.

V projektu elektrárny je počítáno s tím, že radioaktivní produkty se mohou vyskytovat až po čtvrtou ochrannou bariéru, avšak s řádově se snižující koncentrací. Koncentrace RA produktů před druhou ochrannou bariérou v zásadě není limitována, neboť se jedná o vlastní místo vzniku štěpných produktů v důsledku štěpné řetězové reakce v materiálu paliva. Za druhou ochrannou bariérou (tj. v primárním chladivu) je stanovena koncentrace radioaktivních látek předpisy a totéž platí i pro bariéru třetí (tedy v ochranné obálce). Vně čtvrté ochranné bariéry pak již platí hodnoty stanovené jako limitní výpusti RA látek do životního prostředí.

Součástí projektu VVER 440 je rovněž bazén použitého (vyhořelého) jaderného paliva, který je umístěn mimo třetí i čtvrtou bariéru a lze do něj ukládat bez dalších technických opatření pouze takové použité palivové soubory, které mají druhou ochrannou bariéru zcela neporušenou. Dalším místem výskytu použitého jaderného paliva jsou mezisklady použitého (vyhořelého) jaderného paliva, ve kterých je jako třetí ochranná bariéra použit ochranný kontejner.

1.2.2.3 Úrovně ochrany do hloubky

Termín ochrana do hloubky (Defence in Depth – DiD) pochází z vojenské terminologie jako označení obranné strategie, kdy obrana nezávisela na jedné masivní obrané linii, ale soustavě obraných linií a prolomení jedné linie neznamenalo kolaps celé obrany. Tato strategie byla přenesena do zajištění jaderné bezpečnosti na JE. V oblasti JB se již nepoužívá termín strategie ochrany do hloubky ale koncepce ochrany do hloubky (IAEA SSR 2/1 Safety of Nuclear Power Plants: Design, 2012). DiD je od počátku 70. let přímo vkládána do projektu JE použitím vícenásobných fyzických bariér a systému technických a organizačních opatření (úrovní) DiD.

Události v Japonsku v březnu 2011 a jejich vliv zejména na JE Fukushima akcelerovaly potřebu přehodnotit platnou koncepci DiD a stanovit nové požadavky. Ve spolupráci západoevropských dozorných orgánů (WENRA) proto vznikla rozšířená koncepce DiD, která je

závazná pro nové projekty JE (v Evropě) a její aplikace je v rozumně dosažitelné míře rovněž závazná pro stávající bloky.

Jednotlivé úrovně ochrany do hloubky (DiD) shrnuje následující tabulka[2]:

Tab. 3. Charakteristika úrovní ochrany do hloubky dle WENRA

Úrovně DiD	Stav elektrárny	Cíl	Prostředky	Radiologické následky
DiD 1	Normální provoz	Prevence abnormálního provozu	Konzervativní projekt, vysoká kvalita zařízení a způsobu provozování	Bez radiačních následků v okolí elektrárny
DiD 2	Abnormální provoz	Řízení abnormálního provozu a detekce poruchy	Řídicí a limitační systémy, ochrany a blokády	
DiD 3a	Jednoduchá postulovaná událost	Zvládání nehod s cílem omezit únik radioaktivních látek a předejít vzniku těžkých havárií	Ochranný systém reaktoru, bezpečnostní systémy, předpisy pro řízení nehod	
DiD 3b	Násobná postulovaná událost bez tavení paliva		Diversní/alternativní bezpečnostní zařízení, předpisy pro řízení nehod	
DiD 4	Postulovaná těžká havárie s tavením paliva	Řízení těžkých havárií s cílem omezit úniky do okolí	Opatření pro zmírnění následků tavení aktivní zóny, předpisy pro řízení těžkých havárií	Radiační následky v okolí elektrárny mohou vyvolat ochranná opatření omezená v rozsahu a čase
DiD 5	Selhání všech bariér	Zmírňování radiačních následků způsobených významným únikem radioaktivních látek	Organizace vnější havarijní odezvy, zásahové úrovně	Vnější radiační dopad vyžadující ochranná opatření

Základním principem DiD je postupné použití prostředků a postupů až do okamžiku, kdy je situace stabilizovaná a jaderná elektrárna je uvedena do bezpečného stavu. V případě nezvládnutí situace prostředky příslušné úrovně přechází řízení situace na nejbližší vyšší úroveň.

DiD 1

První úroveň ochrany do hloubky je zajištěna konzervativním projektem, kvalitním zhotovením, údržbou a provozováním a jejím cílem je prevence vzniku poruch technických zařízení a událostí a přechod elektrárny do abnormálního provozu. Součástí DiD 1 jsou tedy soubory postupů a aktivit v oblasti provozu a údržby (funkční zkoušky, pravidelné testy systémů, programy kontrol atd.).

Tato úroveň DiD je popsána standardními provozními předpisy a v oblasti personálu se jedná o školení a výcvik pro normální provoz a údržbu.

DiD 2

[2] Požadavky WENRA na koncepci ochrany do hloubky pro existující JE jsou popsána v dokumentu Safety Reference Levels for Existing Reactors (RL E2.1, E2.2), 2014

Druhá úroveň ochrany do hloubky zahrnuje řízení a zvládání stavů abnormálního provozu a detekci poruch, s cílem zabránit rozvoji poruchy do havarijních podmínek. Pro DiD 2 jsou stanoveny postulované iniciační události, což je souhrn předpokládaných poruchových stavů, které jsou při provozu jaderné elektrárny možné a očekávané. Jedná se například o výpadky turbogenerátorů, působení limitačních systémů, netěsnosti na potrubních systémech, ztrátu elektrického napájení některých rozvaděčů, výpadky měření atd.

Tato úroveň je popsána předpisy pro zvládání abnormálního provozu a v oblasti personálu se jedná o výcvik personálu pro zvládání abnormálních stavů (např. formou výcviku posádky BD na plnorozsahovém simulátoru).

V případě DiD 2 se předpokládá, že nedojde k **žádnému poškození ochranných bariér** proti úniku RA látek.

DiD 3

Třetí úroveň ochrany do hloubky zahrnuje řízení a stabilizaci jaderného bloku pro DBA (3a) a DEC (3b) s výjimkou těžkých havárií, a její aplikace vede k dosažení bezpečného stavu jaderného zařízení. Cílem opatření v třetí úrovni ochrany do hloubky je tedy zajistit, že **nedojde k poškození druhé bariéry** proti šíření RA látek (pokrytí paliva) a nedojde tak k radiační mimořádné události nebo budou vyžadována jen minimální opatření pro zvládání radiační mimořádné události (zejména nebude třeba jódová profylaxe, ani ukrytí, nebo evakuace). Jednotlivé postulované iniciační události (PIU) v úrovni DiD 3 jsou postulovány v projektu JE jako nehody s potenciálem ohrozit bariéry, které mohou nastat a proti jejímž následkům musí být projekt elektrárny s dostatečnou rezervou chráněn.

Nový požadavek po událostech na jaderné elektrárně Fukushima vedl k rozdělení DiD 3 na dvě části, neboť původní úroveň 3 nepočítala s kombinací více nezávislých PIU v jednom čase (resp. uvažoval pouze jednu PIU a nezávislé a dopředu nezjistitelné selhání bezpečnostního systému), případně ve víceblokových elektrárnách zasažení více bloků v jedné lokalitě stejnou PIU. Zatímco původní předpoklad uvažoval v případě DBA (a dalších PIU) pouze s jedním postiženým blokem a zdroje (lidské i technické) pro zvládnutí situace bylo možno sdílet, nově se uvažuje i s kombinacemi postižení na celé jaderné lokalitě. Úroveň 3 je proto rozdělena na úroveň 3a a 3b.

Úroveň 3a

Úroveň 3a je ekvivalentem DiD 3 dle definice IAEA[3]. Rozsah PIU řešených v této úrovni je dán v kap. 15 platné PpBZ EDU a této Zprávy (vyjma kap. 15.9). Tuto úroveň lze asociovat se stavem DBA.

V oblasti systémů, konstrukcí a komponent (SKK) se jedná především o bezpečnostní systémy, které zajistí plnění bezpečnostních funkcí.

Tato úroveň je popsána symptomatickými havarijními předpisy (EOP) a postupy pro vnitřní havarijní odezvu a v oblasti personálu je prováděn výcvik zvládání havarijních podmínek na plnorozsahovém simulátoru (posádky blokových dozoren) a prostřednictvím havarijních cvičení (ostatní personál elektrárny). Pro zajištění úrovně DiD 3a je dostatečný standardní (kmenový) počet personálu na směně a v organizaci havarijní odezvy.

Úroveň 3b

Účelem rozšíření úrovně DiD 3 na DiD 3b je zvládnutí řízení a zabránění rozvoje postulované vícenásobné iniciační události/poruchy, která je schopna vyřadit celé systémy/funkce zařazené do úrovně 3a. Rozsah těchto událostí je v dílu 19 PpBZ EDU a této Zprávy a v kapitole 15.9. Tuto úroveň lze asociovat se stavem JE DEC A.

Pro prevenci a zvládání DEC v úrovni ochrany do hloubky 3b jsou využitelné standardní BS, které slouží k zvládání PIU dle PpBZ EDU kap. 15.9. Jako důsledek zavedení DiD 3 bylo nutno JE

[3] Defence in Depth in Nuclear Safety, INSAG-10, IAEA, Vienna

Dukovany doplnit o diverzní a alternativní prostředky pro použití v DiD 3b. Z tohoto důvodu je třeba zavést taková organizační opatření, aby bylo možno dodatečně implementované prostředky použít.

Diverzní prostředky

Diverzní prostředky, které jsou iniciovány bezprostředně po selhání prostředků úrovně 3a, jsou permanentně instalovány a okamžitě připraveny k provozu a diverzně zajišťují vybrané bezpečnostní funkce (při PIU ztráta možnosti odvádět teplo do okolí (UHS) a PIU ztráta všech zdrojů elektrického napájení (SBO)) tak, aby nedošlo k poškození paliva. Tyto prostředky splňují požadavky na fyzickou separaci (v rámci lokality) a kvalifikaci na extrémní podmínky (vnitřních do max. výpočtových zatížení, externích s opakováním menším jak 10^{-4}/rok). Odolnost proti jednoduché poruše není požadována. Parametry zařízení se stanovují best-estimate způsobem. Typicky se jedná o SBO napájení (speciální SBO dieselgenerátory) a prostředky, které jsou z těchto zdrojů napájené a jsou určeny pro posílení řešení definovaných PIU.

Alternativní prostředky

Alternativní prostředky nejsou trvale instalovány na konkrétním pracovním místě. Jejich základním smyslem je zabránit tavení paliva i v případě selhání diverzních prostředků popsaných výše. Na základě tohoto východiska jsou alternativní prostředky použitelné v úrovni DiD 3b. Tyto prostředky splňují požadavky na nezávislost na předcházející úrovni a fyzickou separaci mobilitou, jsou tedy standardně umístěny mimo oblast použití. Je tedy třeba uvažovat jednak s určitým časem, nutným k instalaci těchto prostředků a dále s dostatkem zdrojů (materiálních i lidských) k jejich použití. Typicky se jedná o flexibilní prostředky, mobilní dieselgenerátory, hadice atd. V rámci přípravy vnitřního havarijního plánu a zásahových instrukcí je třeba zohlednit možnou zvýšenou potřebu personálu pro zacházení s alternativními prostředky. Jejich instalace a ovládání si rovněž zažádala zařazení do výcviku personálu.

DiD 4

Čtvrtá úroveň ochrany do hloubky zahrnuje zvládání těžkých havárií, tedy událostí, spojených s poškozením či zničením aktivní zóny reaktoru. Tuto úroveň lze asociovat se stavem jaderné elektrárny DEC B. Cílem opatření, zahrnutých v této úrovni, musí být **ochrana třetí** (primární okruh) a **čtvrté** (hermetické obálka) **bariéry** proti šíření RA látek tak, aby byla maximálně snížena možnost kontaminace rozsáhlých území na dlouhou dobu. Pro ochranu třetí a čtvrté bariéry jsou používány jiné prostředky, něž v případě DiD 3 (ochrana druhé bariéry). Principiálně se jedná o ochranu tlakové nádoby reaktoru (tzv. In-Vessel retention) a prostředky pro řízení složení plynné směsi v hermetickém prostoru (rekombinátory vodíku).

Tato úroveň je popsána návody pro řízení těžkých havárií (SAMG) a pro jejich úspěšné zvládnutí je nutná spolupráce s technickým podpůrným střediskem, které je součástí organizace havarijní odezvy. Výcvik personálu je prováděn prostřednictvím zvláštních havarijních cvičení.

Poznámka:[4] *U této úrovně ochrany do hloubky je třeba uvést, že požadavky WENRA a IAEA nejsou zcela totožné. WENRA zavedením úrovně 3b vyvedla část opatření z úrovně 4 dle IAEA do úrovně 3 dle WENRA. Obecně lze konstatovat, že 4. úroveň ochrany do hloubky dle IAEA odpovídá součtu úrovní 4 a 3b dle WENRA. To může často vést k různým interpretacím, zda dané opatření je zařazeno do úrovně 4 nebo 3b. Pokud posuzujeme opatření z pohledu rozdělení úrovní ochrany do hloubky dle IAEA je třeba diversní a alternativní prostředky zařadit do úrovně 4. Pokud posuzujeme ochranu do hloubky dle WENRA, zařazujeme diversní a alternativní prostředky do úrovně 3b.*

DiD 5

[4] Požadavky WENRA na koncepci ochrany do hloubky pro existující JE jsou popsána v dokumentu Safety Reference Levels for Existing Reactors (RL E2.1, E2.2)

Pátá úroveň ochrany do hloubky zahrnuje opatření na ochranu pracovníků jaderné elektrárny při radiační nehodě a ochranná opatření na ochranu obyvatelstva a životního prostředí při radiační havárii podle požadavků Atomového zákona. V úrovni DiD 5 se předpokládá **poškození všech bariér** proti úniku RA látek. Cílem opatření DiD 5 je zmírnění radiačních následků, které by mohly být následkem těžké havárie. To vyžaduje adekvátně vybavená zařízení havarijní odezvy, havarijní plány a předpisy jak pro areál JE tak i pro okolí.

Řízení vnější havarijní odezvy je v kompetenci Hasičského záchranného sboru kraje. Vnitřní havarijní odezva je již součástí DiD 3 a 4, kde již došlo k aktivaci prostředků těžké techniky, zavedení spolehlivých prostředků komunikace, aktivace krytů atd.

1.2.3 Bezpečnostní funkce

Pro zajištění **celistvosti bariér proti uniku RA látek** musí být plněny definované bezpečnostní funkce elektrárny. Bezpečnostní funkce musí být zajištěny v každém provozním režimu a ve všech místech, kde se nachází jaderné palivo, ať ve výkonovém či nevýkonovém stavu. Prakticky tedy musí být zajištěny ve všech provozních režimech jaderného reaktoru, v bazénu s použitým jaderným palivem i v kontejnerech na dlouhodobé skladování použitého jaderného paliva. Jako základní bezpečnostní funkce („fundamental safety functions“) jsou používány následující tři[5]:

(i) Řízení reaktivity
(ii) Odvod tepla z reaktoru a ze skladů použitého paliva
(iii) Izolace radioaktivních materiálů, stínění proti radiaci a řízení plánovaných radioaktivních výpustí jakož i omezení havarijních radioaktivních úniků

1.2.3.1 Řízení reaktivity

Smyslem této bezpečnostní funkce je zabránit nepřijatelným přechodovým procesům při řízení reaktivity (DiD 1, DiD 2). Systémy elektrárny musí být schopny odstavit reaktor zavčas tak, aby v důsledku očekávaných provozních událostí nedošlo až k projektovým haváriím a dále v případě některé PIU DiD3 odstavit reaktor pro zmírnění následků projektových havárií. Po odstavení musí být udržen reaktor bezpečně podkritický nezávisle na tom, z jaké příčiny k odstavení došlo (včetně odstavení z důvodu výměny paliva). V případě bazénu použitého (vyhořelého) jaderného paliva a skladovacích kontejnerů musí být vždy zajištěna dostatečná podkritičnost palivových souborů.

1.2.3.2 Odvod tepla z reaktoru a ze skladů použitého paliva

Během provozu i odstavení reaktoru je třeba zajistit odvod tepla z palivových souborů. Systémy elektrárny musí být schopny odvádět řízeným způsobem jak energii, vznikající během výkonového provozu (DiD 1, DiD 2), tak zbytkové teplo v průběhu všech provozních stavů a v havarijních podmínkách, při kterých nedošlo k porušení celistvosti primárního okruhu. V případě porušení celistvosti primárního okruhu musí být zbytkové teplo odváděno tak, aby nedošlo k poškození pokrytí paliva (DiD 3). V případě těžké havárie (DiD 4) je v případě ztráty chlazení paliva vysoká pravděpodobnost poškození pokrytí palivových proutků a je vždy třeba učinit adekvátní nápravná opatření k jeho obnově.

Pro zajištění bezpečného provozu ve všech výkonových i nevýkonových stavech je třeba předávat teplo ze systému chlazení jaderného paliva (reaktor, bazén použitého paliva, skladovací kontejner) až do koncového stupně odvodu tepla. V případě výkonového provozu se jedná o využití výkonu reaktoru v navazující technologii sekundárního okruhu pro výrobu elektrické energie, případně tepla. V případě nevýkonového provozu (odstávka pro výměnu paliva - DiD 1) se jedná o zajištění bezpečného provozního stavu pro provádění prací. V případě postulovaných událostí (DiD 3) je nutno odvádět zbytkové teplo jaderného paliva z důvodu dlouhodobého udržení celistvosti bariér proti úniku RA látek. V případě těžkých havárií (DiD 4) je třeba odvádět teplo z důvodu zmírnění následků havárie a ochranu 3. a 4. bariéry proti úniku RA látek.

[5] Safety of Nuclear Power Plants: Design for protecting people and the environment No. SSR-2/1 Specific Safety Requirements, IAEA, Vienna

1.2.3.3 Izolace radioaktivních materiálů, stínění proti radiaci a řízení plánovaných radioaktivních výpustí jakož i omezení havarijních radioaktivních úniků

V případě normálního provozu reaktoru je třeba omezit únik radioaktivních látek, které při provozu vznikají, a s jejich vznikem je počítáno v projektu. V průběhu havarijních podmínek pak integrita hermetické obálky zajišťuje 4. bariéru proti úniku RA látek do životního prostředí a cílem je omezit vypouštění nebo úniky radioaktivních odpadů a plynných radioaktivních látek pod předepsané hodnoty při všech provozních stavech. Smyslem bezpečnostní funkce je tedy omezit radiační ozáření obyvatelstva a personálu jaderného zařízení v normálním provozu (DiD 1, DiD 2), v průběhu a po odeznění projektových havárií (DiD 3) a některých těžkých havárií (DiD 4), následkem kterých dochází k únikům radioaktivních látek.

1.2.4 Projektové principy bezpečnosti reaktorů VVER 440/V-213

Základní principy bezpečnosti, realizované v projektu JE Dukovany, jsou následující:

- Umístění jaderné elektrárny v geologicky stabilní oblasti s nízkou seismicitou a prakticky vylučující externí záplavy.
- Projekt aktivní zóny je zpracován na základě konzervativního přístupu s rozvinutou vlastností samočinné ochrany aktivní zóny (záporné teplotní zpětné vazby).
- V projektu jsou zahrnuty dva diverzní systémy pro řízení reaktivity (regulační kazety a roztok kyseliny borité v chladivu rektoru), schopné nezávisle jeden na druhém zajistit přechod reaktoru z libovolného stavu normálního provozu do podkritického stavu a udržet ho v něm při pracovní teplotě chladiva.
- Pro rychlé odstavení jaderného reaktoru je použit systém pádu havarijních a regulačních kazet působením gravitace bez potřeby dodávky vnější energie.
- V projektu jsou zahrnuty bezpečnostní systémy, určené pro rychlé (havarijní) odstavení reaktoru a jeho udržení v podkritickém stavu, havarijní odvod tepla (dochlazování) a udržení radioaktivních produktů ve stanovených hranicích.
- Je použita kombinace pasivních a aktivních bezpečnostních systémů s redundancí 3x100%, tedy zásah pouze jednoho z redundantních systémů postačuje k řešení maximální projektové události.
- Primární okruh je umístěn v hermetickém prostoru, aby v případě projektových nehod byla zajištěna lokalizace uvolňovaných radioaktivních látek v hranicích hermetického prostoru.
- Elektrické napájení vlastní spotřeby je velmi robustního provedení s mnohonásobným zálohováním z vnější sítě včetně možnosti napojení na blízkou přečerpávací hydroelektrárnu Dalešice s dostatečným výkonem a při rozpadu elektrizační soustavy možným „startem ze tmy“.

1.3 Srovnání

1.3.1 Porovnání projektového řešení EDU s obdobnými projekty

Při srovnání bloku EDU s reaktorem typu VVER-440/V-213 se západními typy tlakovodních reaktorů stejné, tedy druhé generace, je nutno konstatovat, že v některých aspektech již původní projekt VVER-440/V-213 vykazuje nesporné pozitiva. Jedná se například o:

- horizontální parogenerátory (PG) o větším vodním objemu, což znamená větší rezervu pro zabezpečení odvod tepla z reaktoru při poruchách spojených s přesušením dodávky vody do parogenerátorů
- větší objem sekundárního chladiva s podobným efektem jako předcházející bod
- pomalejší regulace výšky hladiny v PG, což přináší vyšší stabilitu hladiny při přechodových procesech a tím i stabilitu zajištění odvodu tepla z primárního okruhu
- menší netěsnosti teplosměnných trubek PG
- větší kompenzátor objemu, což znamená více vody v primárním okruhu (I.O) a větší stabilita tlaku I.O. při přechodových procesech
- nižší neutronové toky v aktivní zóně, z čehož plyne více času na regulaci výkonu a menší namáhání tlakové nádoby reaktoru neutronovým tokem

- menší tepelná měrná objemová zátěž aktivní zóny (AZ)
- absence Xe oscilací v aktivní zóně, stabilita výkonu díky silné zpětné výkonové vazbě
- menší obsah Co-60 v materiálech I.O, z čehož plyne nižší aktivace zařízení I.O a nižší dávky personálu, jež je zřejmé z nižších dosahovaných kolektivních dávek personálu
- 3 nezávislé 100% bezpečnostní systémy včetně nouzových dieselgenerátorů jako součást základního projektu (u části západních bloků stejné generace byl uplatněn přístup 2 x 100%)
- 3x samostatné nádrže pro vysokotlaké doplňování a 3x samostatné nádrže pro nízkokotlaké doplňování (nikoli pouze jedna společná jako v jiných designech téže generace)
- možnost ručního propojení dieselgenerátorů (DG) z jiných bloků v případě nouzových situací
- vyšší legislativní požadavky na vzdělání personálu, obsluha v blokové dozorně má vysokoškolské vzdělání, státní zkoušky a pravidelně opakované komplexní lékařské a psychologické testy.
- pro tlakové nádoby vyrobené firmou Škoda příznivé výsledky pevnosti v oblasti tlakově teplotních šoků
- ucpávky hlavního cirkulačního čerpadla (HCČ) vydrží při nominálních parametrech bez chlazení minimálně 24 hodin
- hasičský záchranný sbor podniku na místě
- superhavarijní napájení jako třetí způsob doplňování parogenerátorů doplněné navíc možností propojení na požární vodu
- pojistné ventily kompenzátoru objemu (PVKO), které lze otevřít ručně z blokové dozorny (BD)

V některých aspektech naopak původní projekt VVER 440/213 plně nedosahoval úrovně západních typů tlakovodních reaktorů stejné generace. Odlišnosti byly v menší míře způsobeny přijatým technickým řešením bloků VVER 440/213 a častěji neúplností potvrzujících průkazů na úrovni západních standardů. Mezi tyto odlišnosti původního projektu patřily:

- neúplnost průkazu spolehlivé funkce barbotážní věže při haváriích
- nízký stupeň automatizace a zastaralá technika rozvodů
- neúplné prostorové oddělení parních potrubí a napájecí vody
- nepříznivé situování turbín vzhledem k reaktorové budově pro případ roztržení turbíny a následným vnitřním letícím předmětům
- neúplná preventivní a ochranná opatření proti poruchám se společnou příčinou

V průběhu počátečních let provozu EDU byly všechny tyto zjištěné odlišnosti analyzovány a v rámci procesu kontinuálního zvyšování úrovně jaderné bezpečnosti byly potřebné průkazy na základě analytických a experimentálních prací získány resp. tam, kde se to ukázalo nezbytné, byly realizovány technická opatření a úpravy.

Ad. - neúplnost průkazu spolehlivé funkce barbotážní věže - na základě provedených experimentů na modelovém zařízení a souvisejících analytických prací byl získán průkaz spolehlivé funkce barbotážní věže včetně celého systému potlačení tlaku a lokalizace havárie, který byl verifikován IAEA.

Ad. - nízký stupeň automatizace a zastaralá technika rozvodů, stupeň automatizace byl optimalizován, technika rozvodu řešena dostrojením rozvoden a náhradou řady technických prvků - rozvaděčů, vypínačů, přístrojů elelektrických ochran, baterií (viz kapitola 8 této Zprávy), vzhledem k nedostatku náhr. dílů původního SKŘ byla realizována významná modifikace „Obnova SKŘ“ komplexně nahrazující původní zařízení SKŘ nejmodernějšími digitálními prostředky (viz kapitola 7 této Zprávy).

Ad. - neúplné prostorové oddělení potrubí ostré páry a napájecí vody, bylo vyřešeno přeložením trasy superhavarijního napájení do jiných prostor a instalací omezovačů švihu na potrubích páry a napájecí vody, navíc byl zvýšen stupeň diverzity napájení PG realizací propoje mezi superhavarijním napájením a požární vodou.

Ad. - nepříznivé situování turbín vzhledem k reaktorové budově pro případ roztržení turbíny a následným vnitřním letícím předmětům, bylo řešeno analytickými studie, které prokázaly, že riziko vzniku události a následné případné zasažení bezpečnostně významných cílů je velmi nízké. V rámci záměny nízkotlakých dílů turbíny byl realizován projekt instalace celokovaných rotorů, pro něž je riziko selhání výrazně nižší než u původně instalovaných rotorů skládaných

Ad. - neúplná preventivní a ochranná opatření proti poruchám se společnou příčinou: Řadou technických řešení (např. zvýšení úrovně požární bezpečnosti – podstatné rozšíření systému automatického hašení, nový signalizační a iniciační protipožární systém, náhrada sacích jímek sprchových čerpadel, instalace redundantního systému na 4. systému el. napájení, změna trasy superhavarijního napájení a realizací dalších opatření – viz kapitola 19 této zprávy) bylo riziko poruchy se společnou příčinou minimalizováno, výsledkem je výrazné snížení CDF v rámci studií PSA viz Kapitola 19 této Zprávy na hodnoty pro výkonový provoz blízké 1E-05 což odpovídá současným požadavkům IAEA na nové JE.

Při srovnání bloku s reaktorem VVER-440/V-213 s pokročilými typy západních tlakovodních reaktorů třetí generace bylo možno konstatovat (podobně jako je tomu u všech reaktorů druhé generace) absenci projektových systémů určených na zmírnění následků těžké havárie s tavením jaderného paliva. Tyto systémy čtvrté úrovně ochrany do hloubky ve všeobecnosti nebyly uvažovány v stádiu projektu reaktorů druhé generace. V případě reaktorů VVER-440/V-213 se však ukázalo, že lze poměrně jednoduchými úpravami stávajících technologií implementovat systém lokalizace a stabilizace taveniny aktivní zóny (cória) uvnitř reaktorové nádoby prostřednictvím chlazení jejího vnějšího povrchu. Dalším podstatným opatřením pro zvládání těžkých havárií bylo dodatečné posílení systému havarijního spalování vodíku. Koncepce těchto modifikací je popsána v kapitole 19 této Zprávy.

1.3.2 Porovnání základních parametrů bloku VVER 440/213 na zvýšeném výkonu

Využití projektových rezerv bloků VVER 440 prostřednictvím zvýšení tepelného výkonu reaktoru bylo realizováno na řadě typově shodných elektrárnách. Historicky nejdříve byl zvýšen výkon na JE Loviisa ve Finsku, kde jsou dva reaktory typu VVER 440 provozovány dlouhodobě na úrovni 1500MWt (109 %). Na JE Paks v Maďarsku bylo v letech 2006 -2009 realizováno postupně na všech blocích zvýšení tepelného výkonu na 108 %. Na slovenských JE typu VVER 440/213 je realizováno zvýšení výkonu na 107% v Mochovcích na EMO1,2 a ve dvou fázích na 104% a od roku 2010 na 107% v Jaslovských Bohunicích na JE V2. Zvýšení tepelného výkonu na EDU na 105%, které bylo realizováno na jednotlivých blocích EDU v letech 2010 – 2013 je v porovnání s ostatními elektrárnami stejného typu nižší a bylo motivováno především možností zachovat ekonomicky výhodný 5-letý palivový cyklus a vsázky s nízkým únikem neutronů snižující zatížení tlakové nádoby reaktoru neutronovým zářením. Zvýšení výkonu na EDU bylo doprovázeno i zvýšením tlaku v hlavním parním kolektoru (HPK) a několika technickými modifikacemi, které jsou uvedeny níže.

Tab. 4. Porovnání hlavních parametrů bloků EDU před a po zvýšení výkonu

Parametr	Původní stav	Po zvýšení výkonu	Jednotka
Nominální tepelný výkon reaktoru	1375	1444	MW
Teplota chladiva v horkých větvích I.O	296,2	297,2	°C
Teplota chladiva ve studených větvích I.O	266,6	266,6	°C
Ohřev na reaktoru	29,6	30,6	°C
Tlak chladiva na výstupu z AZ reaktoru (abs)	12,17	12,36	MPa
Tlak v hlavním parním kolektoru (abs)	4,53	4,57	MPa
Tlak páry v parogenerátorech (abs)	4,78	4,75	MPa
Teplota páry v PG	258,1	260,7	°C
Množství páry z jednoho PG	126,3	132,6	kg/s

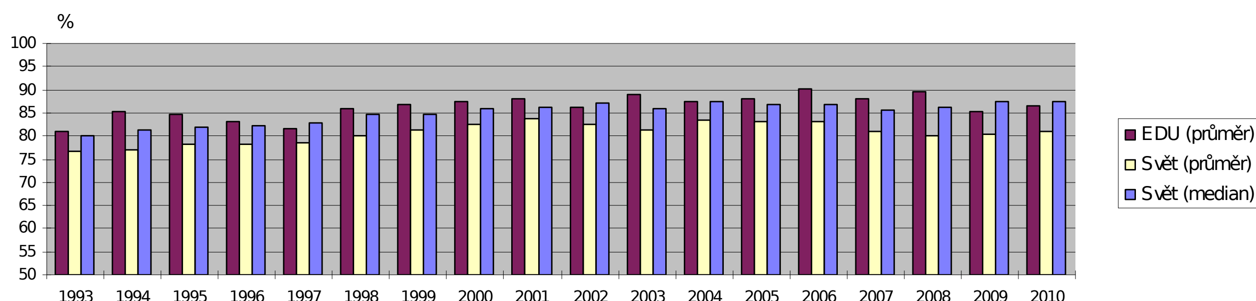
Teplota nap. vody na vstupu do PG	223,4	226,8	°C
Množství nap. vody do jednoho PG	126,8	134,1	kg/s
Maximální dovolený průtok přes reaktor pro 6 HCČ (pro frekvenci 50,5 Hz) – pro původní palivo/ palivo Gd1/Gd2	43 000/42500	43500	m^3/hod
Minimální dovolený průtok přes reaktor (pro frekvenci 49 Hz)	39000	40000	m^3/hod
Maximální obtok aktivní zóny	8,5	8,5	%
TG elektrický výkon (před náhradou nízkotlaké části TG)	2 x 224		MWe
TG elektrický výkon (po náhradě vysokotlaké i nízkotlaké části TG)		2x250,6	MWe

V souvislosti se zvýšením tepelného výkonu bloků EDU na 105 % v rámci akce Využití projektových rezerv byly realizované následující hlavní modifikace a úpravy:

- Výměna vysokotlakého (VT) rotoru turbíny včetně lopatkování, výměna rozváděcích kol, repase ložisek, výměna vnitřních částí regulačních ventilů VT dílu pro zvýšení hltnosti turbíny (TG), výměna ucpávek.
- Instalace dvou nových blokových transformátorů a retrofit ostatních transformátorů.
- Úprava statorů generátorů.
- Rekonstrukce vyvedení výkonu generátoru.
- Upgrade trenažéru a displejového simulátoru na reálný stav po zvýšení výkonu.
- Použití nového typu paliva tzv. Gd-2M se zvýšeným průměrným obohacením 4,38% U-235
- Náhrada měřících dýz a VT odlučovačů na parovodech s cílem snížit trvalé tlakové ztráty v parním potrubí na trase od parogenerátorů po turbínu.
- Upgrade systému SCORPIO na monitorování a predikci stavu AZ obsahující palivo Gd-2M.
- Instalace nového monitorovacího systému transformátorů.
- Zvýšení tlaku v kolektoru 0,7 MPa a tím i tlaku v napájecích nádržích na 0,72 MPa. Toto mělo za následek zvýšení teploty napájecí vody do vysokotlakých ohřívačů (VTO) 1 o cca 2°C.
- Změny logik a nastavení algoritmů zařízení v ochranných a limitačních systémů SKŘ RTS/RLS/SGPS
- Úpravy jeřábů ve strojovně
- Zvýšení hltnosti přepouštěcích stanic do kondenzátoru (PS-K) na 4x 480 t/h

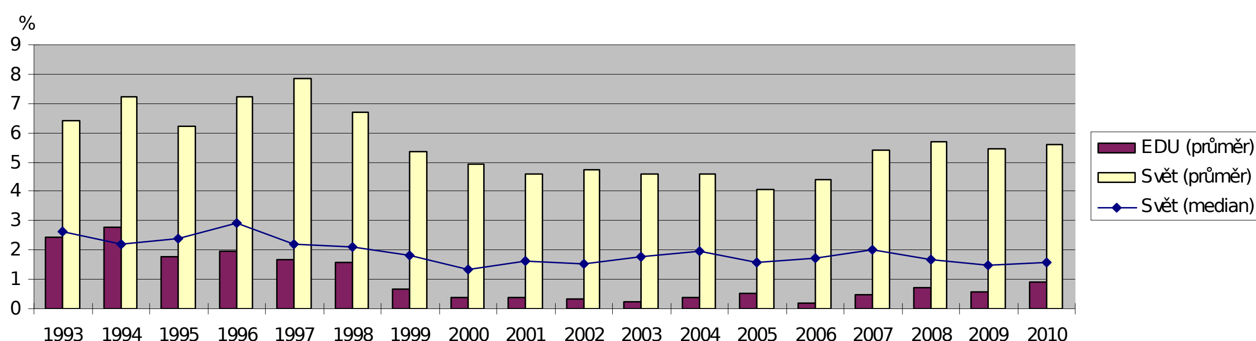
1.3.3 Porovnání vývoje základních bezpečnostních indikátorů s ostatními provozovanými JE ve světě (bylo by potřeba mít aktualizované data do 2014)

Faktor způsobilosti bloku - procentuální podíl z referenční výroby elektrické energie, kterou je blok schopen dodávat do sítě při zohlednění pouze těch ztrát (plánovaných i neplánovaných), které jsou ovlivnitelné ze strany elektrárny. Vysoký faktor způsobilosti indikuje účinnost elektrárenských programů a postupů zaměřených na minimalizaci neplánovaných ztrát výroby a optimalizaci plánovaných odstávek. Délka plánovaných odstávek je v současnosti jediným skutečně limitujícím faktorem EDU, neboť plánované ztráty výroby se pohybují kolem 10 % z referenční výroby.



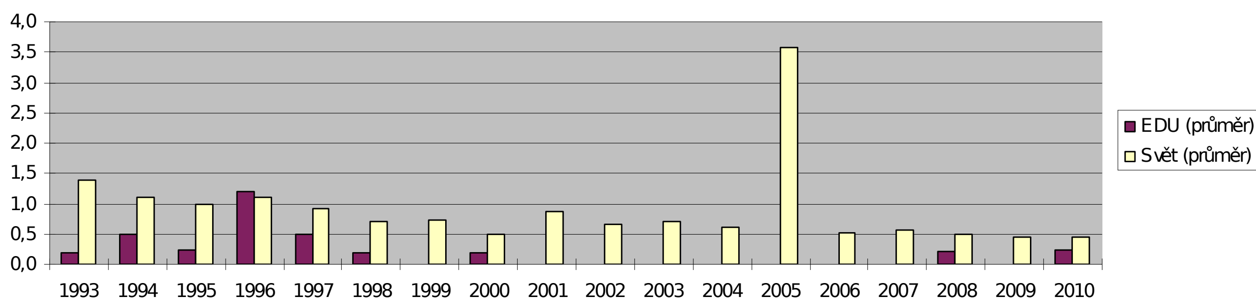
Obr. 1. Faktor způsobilosti bloku

Faktor neplánovaných ztrát způsobilosti - procentuální podíl z referenční výroby elektrické energie, kterou blok není schopen dodávat do sítě z důvodu elektrárnou ovlivnitelných neplánovaných ztrát výroby při provozu nebo vlivem neplánovaného prodloužení odstávek. Nízké hodnoty ukazatele indikují, že důležitá zařízení elektrárny jsou dobře udržována a spolehlivě provozována a že nedochází k prodlužování plánovaných odstávek.



Obr. 2. Faktor neplánovaných ztrát způsobilosti

Četnost rychlých neplánovaných automatických odstavení reaktoru - podíl počtu rychlých odstavení reaktoru zapracováním automatik na 7000 hodin provozu reaktoru v kritickém stavu. 7000 hodin je průměrná délka palivového cyklu. Ukazatel monitoruje výskyt přechodových stavů na bloku s iniciací rychlého odstavení reaktoru. Světový medián tohoto ukazatele je již několik let nulový, což znamená, že více jak polovina bloků je provozována bez rychlých automatických odstavení během kampaně. EDU spolehlivě drží tento trend.



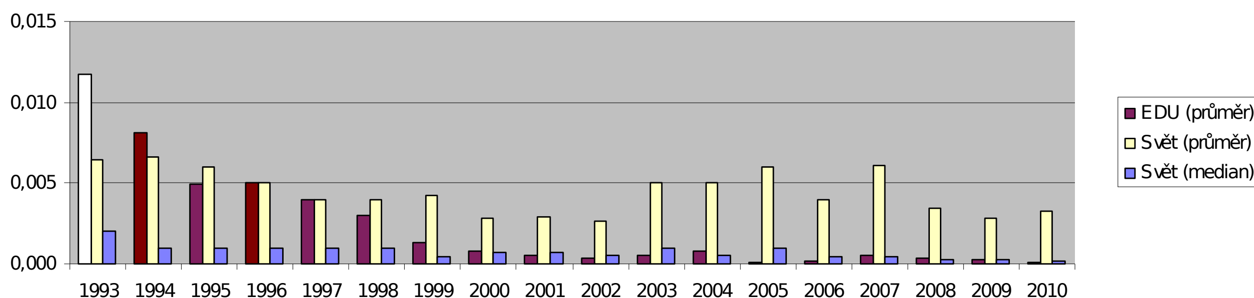
Obr. 3. Četnost rychlých neplánovaných automatických odstavení reaktoru

Nepohotovost bezpečnostních systémů - Poměr hodin nedostupnost, některé z redundantních linií bezpečnostních systémů v průběhu sledovaného období dělený hodinami požadované pohotovosti a počtem redundantních linií. U bloků PWR se indikátor vyhodnocuje pro tyto 3 systémy:

- Systém vysokotlakého doplňování do primárního okruhu
- Systém pomocného napájení parogenerátorů
- Nouzový systém napájení vlastní spotřeby (dieselgenerátory)

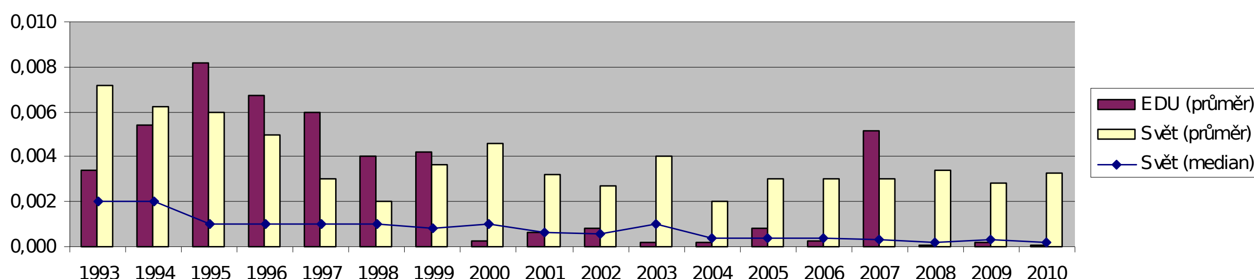
Ve všech ukazatelích patří EDU dlouhodobě mezi elektrárny s nejlepšími výsledky tj. nejnižší hodnotou nepohotovosti

Nepohotovost bezpečnostních systémů - Systém vysokotlakého doplňování



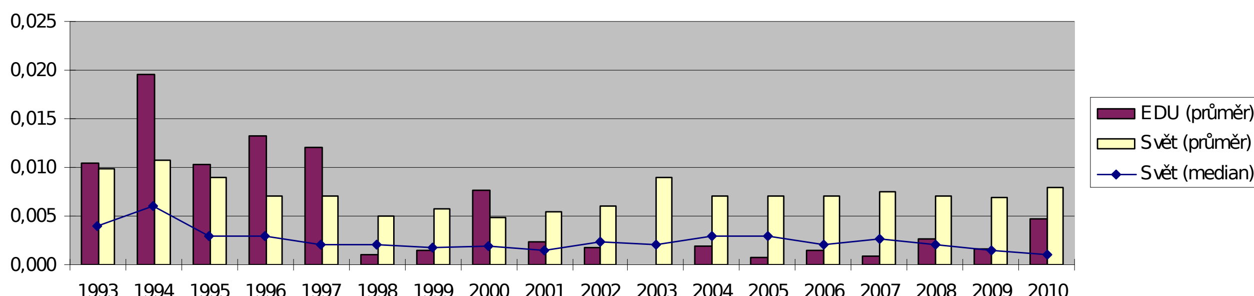
Obr. 4. Nepohotovost bezpečnostních systémů – Systém vysokotlakého doplňování

Nepohotovost bezpečnostních systémů - Systém pomocného napájení PG



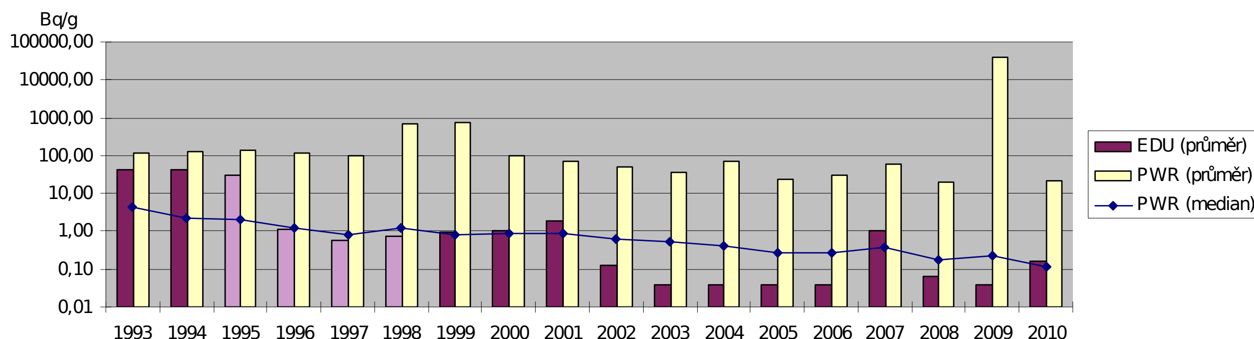
Obr. 5. Nepohotovost bezpečnostních systémů – Systém pomocného napájení PG

Nepohotovost bezpečnostních systémů - Dieselgenerátory



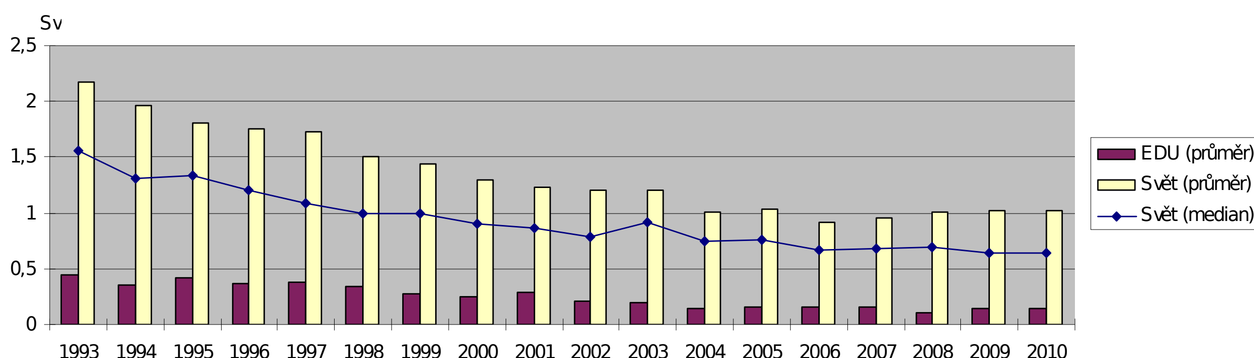
Obr. 6. Nepohotovost bezpečnostních systémů – Dieselgenerátory.

Spolehlivost paliva - Spolehlivost paliva je vyhodnocována z aktivit štěpných produktů přítomných v chladivu reaktoru. V důsledku konstrukčních rozdílů je tento indikátor počítán různě pro různé typy reaktorů. Pro PWR a PHWR je to měrná aktivita (Bq/g) I-131 v chladivu při ustáleném stavu I.O korigovaná na výkon reaktoru a. Hodnoty ukazatele vyšší než 19 indikují možnost netěsnosti pokrytí paliva. Spolehlivosti paliva v EDU je dlouhodobě na velmi dobré úrovni.



Obr. 7. Spolehlivost paliva.

Kolektivní efektivní dávka - součet individuálních efektivních dávek z externího i interního ozáření všech pracovníků na bloku (včetně dodavatelů a návštěvníků) během daného období. Ukazatel monitoruje účinnost radiační kontroly a ochrany bloku. EDU dlouhodobě patří mezi nejlepší elektrárny s nejnižšími dávkami pro personál.



Obr. 8. Kolektivní efektivní dávka.

1.4 Přehled dodavatelů a organizací zúčastněných na projektu, výstavbě a rekonstrukcích

1.4.1 Projekt a výstavba

Účelem této kapitoly je popsat koncepci dodavatelského systému při výstavbě a rekonstrukcích EDU.

Koncepce dodavatelského systému při výstavbě EDU vychází ze systému osvojeného při výstavbě elektráren v 70. letech v Československu a postupů platných v bývalém RVHP pro výstavbu jaderných elektráren sovětské provenience ve členských státech RVHP. Postavení Československa bylo specifické tím, že rozhodující zařízení primárního okruhu (včetně reaktorové nádoby, jejích vestaveb a horního víka a parogenerátorů) vyráběli čs. výrobci pro jaderné elektrárny v Československu a dalších státech stavějících jaderné elektrárny v RVHP mimo území SSSR.

Projektová příprava EDU byla zahájena na základě mezivládní dohody SSSR a ČSSR ze dne 30. 4. 1970 o poskytnutí technického projektu pro standardní řešení bloků VVER 440 typ V 213č. Následně však došlo ke změně a podle tohoto záměru byla nejprve realizována elektrárna v lokalitě Jaslovské Bohunice na Slovensku v dvojblokovém provedení (současná elektrárna EBO V-2) a teprve následně byl technický projekt upraven pro provedení se 4 bloky pro lokalitu Dukovany. Vzhledem k tomu, že zpracovatel projektu a hlavní dodavatelé technologické části obou elektráren byli stejní, mohli účastníci výstavby poznatky ze stavby v Jaslovských Bohunicích využít pro zlepšení přípravy a realizace EDU.

Dokumentaci pro povolení stavby a smlouvy s dodavateli na projektování a realizaci stavby, územní rozhodnutí, stavební povolení a vodoprávní rozhodnutí potřebná k provozu

zajišťovala inženýrská organizace ENERGOINVEST Praha pověřená k těmto inženýrským činnostem vlastníkem elektrárny. Činnosti tzv. generálního projektanta vykonávala firma ENERGOPROJEKT PRAHA, která pro povolení a smluvní zajištění stavby EDU zpracovala projektovou dokumentaci podle v této době platných československých předpisů. Sovětská projektová organizace Atomteploelektroprojekt zpracovala souborné projektové řešení standardního projektu VVER 440 typ V 213č upraveného pro lokalitu Dukovany označené jako „technický projekt“ a pro „sovětskou zónu projektování“[6] prováděcí projekt. ENERGOPROJEKT PRAHA při zpracování projektové dokumentace podle československých předpisů vyřešil podle možností tehdejšího československého průmyslu záměnu zařízení sovětské provenience za zařízení tuzemská a umožnil tak dodávku strojní a elektrotechnické části v jaderné části elektrárny více než 10 tuzemským firmám. Jejich dodávky se podílely na zhotovení tzv. technologické části stavby, kterou zkompletovala firma Škoda Praha, označovaná jako generální dodavatel technologické části stavby. Uvedené poddodávky generálnímu dodavateli stavby byly označeny jako finální dodávky a jejich vymezení vycházelo z oborového rozdělení technologické dodávky.

Zhotovením stavební části EDU byla pověřena firma Průmyslové stavby Brno, označená jako generální dodavatel stavební části, pro kterou prováděcí dokumentaci zpracoval ENERGOPROJEKT PRAHA.

1.4.2 Provoz

Rozhodující rozsah údržby zařízení a systémů EDU prvních letech jejího provozu zajišťovali dodavatelé, kteří se předtím podíleli na výstavbě, útvar vlastní údržby ČEZ, a. s., a další firmy, které si osvojily kvalifikační požadavky potřebné pro práci na zařízeních a systémech provozované jaderné elektrárny. V průběhu 90. let vlastní údržba provozovatele elektrárny ČEZ, a. s., byla transformována do firem buď s majetkovou účastí ČEZ, a. s., nebo firem vlastnicky oddělených od ČEZ, a. s. Obdobnou transformací prošla i většina firem, které se jako dodavatelé zúčastnili výstavby a jsou nositelé know-how o údržbě jimi dodaných zařízení.

Pro výběr dodavatelů zajišťujících rekonstrukce a modernizaci EDU je uplatňován zákon o veřejných zakázkách. Ve většině případů postupy podle tohoto zákona vedou k výběru technicky přijatelné nabídky s nejvýhodnější cenou. Uvedeným požadavkům v řadě případů vyhověly firmy podílející se na údržbě popisované v předcházejícím odstavci.

Rozsáhlé akce rekonstrukcí byly zajišťovány firmami s vlastním inženýringem ČEZ, a.s. a rezervami zdrojů postačujícími na realizace rozsáhlých závazků ve specifických podmínkách jaderného zařízení s omezenou dobou odstávky na provedení prací v prostoru výrobního bloku. Například:

- Obnova SKŘ, Dodavatel ŠKODA JS a. s., zahraniční poddodavatelé AREVA NP a DS&S SA, tuzemští poddodavatelé - MEACONT Praha spol. s r.o., EGP Invest s.r.o., Uherský Brod, OSC, a. s., I&C ENERGO s.r.o., ZAT a.s.
- Využití projektových rezerv EDU – zvýšení tepelného výkonu reaktoru na 1444 MW, dodavatelé: ÚJV Řež, a.s. Divize ENERGOPROJEKT PRAHA, OKB Gidropress Podolsk, Rusko, ŠKODA PRAHA Invest s.r.o., ŠKODA JS, a.s., OSC, a.s.
- Modernizace blokových transformátorů, Dodavatel ETD TRANSFORMÁTORY, a.s.
- Aktualizace trenažéru, Dodavatel: OSC, a.s.

1.5 Další technické informace

1.5.1 Koncept trvalého zvyšování úrovně bezpečnost

V jaderné energetice se uplatňuje koncept trvalého zvyšování úrovně bezpečnosti s využitím zvyšující se úrovně poznání a výsledků vědy a vývoje. Tento koncept je zakotven v Atomovém zákonu i vrcholových mezinárodních standardech (IAEA, WENRA). Požadavek na trvalé zvyšování úrovně se týká i nejen nových projektů JE, které automaticky musí zohledňovat nově definované požadavky, ale i provozovaných elektráren. Aplikací konceptu trvalého zvyšování bezpečnosti i na provozované elektrárny, které plnily všechny stanovené požadavky v době jejich výstavby a uvedení do provozu, se tento přístup liší od většiny jiných

[6] Rozdělení projektu do zón projektování je dále uvedeno v kapitole 1.7

průmyslových činností, kdy na provozovaná zařízení jsou obvykle přenášena pouze vybrané nové požadavky (např. environmentální) a to pouze v přiměřené míře.

Důsledkem tohoto konceptu je, že na provozovaných elektrárnách musí být udržován trvalý proces přípravy, realizace a řízení změn, který reflektuje vyvíjející se bezpečnostní požadavky. Stejná situace je i v případě EDU, kdy jak bude uvedeno dále, řada zařízení prošla kompletní rekonstrukcí a řada zařízení byla do projektu EDU doplněna. Příčiny těchto realizovaných změn byly dány zejména vývojem požadavků a na ně navazujících interních hodnocení (periodické hodnocení bezpečnosti tzv. PSR) nebo externích hodnocení (požadavky SÚJB, výsledky externích auditů a misí) a dále provozní zkušeností (vyhodnocení provozu zařízení). Posledním desetiletí mezi podněty pro realizaci změn zařízení přibyla potřeba obnovy zařízení a přípravy na dlouhodobý provoz EDU (LTO) z hlediska výsledků programů řízeného stárnutí, kde se kombinuje provozní zkušenost, výsledky vědy a výzkumu, vývoj bezpečnostních požadavků a přebírání poznatků a zkušeností z jiných jaderných zařízení.

1.5.2 Program MORAVA

Zvyšování úrovně bezpečnosti bylo součástí činností prováděných na EDU od samého počátku provozu všech čtyř bloků. Stav jaderné elektrárny spuštěné v letech 1985-87, byl průběžně modernizován na základě potřeb a požadavků provozu a stavu zařízení se zahrnutím nových požadavků na úroveň bezpečnosti. Posuzování vycházelo z aktuálního stavu jaderné elektrárny v daném období. Při projektování jaderné elektrárny byla pro oblast zajištění jaderné bezpečnosti použita původní ruská normativní dokumentace. Dílčí jednotlivé akce pro zvýšení bezpečnosti byly postupně sloučeny do komplexního modernizačního programu MORAVA. Díky technickým opatřením provedeným zejména v rámci programu MORAVA byl v druhé polovině 90. let před vstupem ČR do EÚ v době posuzování EDU (Státním úřadem pro jadernou bezpečnost - SÚJB, Mezinárodní Agenturou pro Atomovou Energii - IAEA, vnějším a vnitřním auditem, WENRA a dalšími posuzovateli) stav jaderné elektrárny na úrovni, která nebrání vstupu ČR do EU. Mise IAEA a technický audit hodnotily jadernou elektrárnu Dukovany z hlediska platných standardů vydaných IAEA, bezpečnostních nařízení platných v ČR a mezinárodně přijatých koncepcí, praktik a zobecněných národních standardů. Standardy tohoto druhu byly zpracované z iniciativy IAEA. V rámci tohoto procesu přípravy standardů, který je známý jako NUSS (Nuclear Safety Standards), byla uplatněna i bezpečnostní pravidla platná v zemi původního projektanta VVER (SSSR). Výsledky těchto auditů a misí byly průběžně zohledňovány v programu MORAVA. Poslední hodnocení EU zpracované v počátku roku 2001 skupinou AQG (Atomic Question Group) a týmem WPNS (Working Party on Nuclear Safety) potvrdilo, že jimi indikované bezpečností odchylky jsou v EDU správným způsobem řešeny a jediné formulované doporučení AQG bylo koncem roku 2003 vyřešeno.

Výsledky těchto externích hodnocení potvrdily, že program MORAVA byl stanoven v souladu s evropskou bezpečnostní praxí a realizovaná bezpečnostní vylepšení projektu EDU zohlednily vývoj mezinárodních požadavků. Implementací programu MORAVA se EDU v letech 2000 - 2010 dostala úrovní bezpečnosti a spolehlivosti mezi nejlépe provozované jaderné elektrárny v EU. Rozhodující modifikace programu MORAVA byly provedeny do konce roku 2010. Bezpečnostní vylepšení a modernizace zařízení, provedená v rámci Programu obnovy zařízení MORAVA umožňují uvažovat s provozem bloků s výhledem až do roku 2045 a program tak vytvořil dobrý předpoklad pro zajištění dlouhodobého provozu EDU. Na Program MORAVA navazuje od roku 2009 Program zajištění dlouhodobého provozu EDU (LTO EDU), které mají za cíl zajistit další bezpečný, spolehlivý a ekonomický provoz EDU.

1.5.3 Program zajištění LTO EDU

Na základě „Koncepce podnikatelské činnosti ČEZ, a. s.“ jsou dlouhodobě vytvářeny podmínky pro pokračování provozu EDU s výhledem až do roku 2045. K dosažení cíle byl navržen Program zajištění LTO EDU a provedena následná riziková analýza. Na základě těchto dokumentů vznikla Strategie LTO EDU a první projekt pro LTO EDU: „Zajištění licence a připravenosti EDU pro provoz v období 2015 až 2025.“

Hlavní body přijaté „Strategie dlouhodobého provozu (LTO) EDU“ byly promítnuty do jednotlivých úkolů prvního projektu LTO EDU (viz níže). Strategii a projekt schválilo představenstvo ČEZ, a. s., v roce 2009. Projekt je řízen pod názvem „Zajištění LTO EDU“.

Do projektu bylo zařazeno přes 200 akcí, které byly formulovány v průběhu tvorby dokumentace Programu zajištění LTO EDU. Pro řízení projektu v letech 2009 až 2015 vznikl projektový tým. Práce týmu se zaměřovala na splnění pěti hlavních úkolů, které vycházejí z přijaté Strategie LTO EDU:

1. Dokončit modernizaci a obnovu zařízení EDU
   1.1. Dokončení modernizace EDU (dokončení akcí převzatých programu MORAVA a dokončení řešení bezpečnostní vylepšení)
   1.2. Korekční kroky pro zlepšení stavu zařízení (rekonstrukce, výměny dožitého zařízení apod.)
   1.3. Pro variantu +20 let provozu realizovat pouze nezbytné akce dle dokumentace Programu zajištění LTO EDU
2. Splnit požadavky SÚJB k provozu po 2015 (+10 let)
3. Udržovat „living“ verzi Programu zajištění LTO EDU a projektu
   3.1 Periodicky aktualizovat podklady (výchozí data) Programu zajištění LTO a ve vazbě na požadavky SÚJB i celkovou dokumentaci Programu zajištění LTO EDU.
   3.2 Provázat záměr na výstavbu nové kapacity v EDU s programem LTO
   3.3 Pro pokračování provozu EDU po roce 2015 vypracovat nový Záměr projektu pro druhý projekt LTO EDU.
4. Implementovat program řízení životnosti (PLIM) EDU
   4.1 Zavést program řízení životnosti (PLIM) se všemi nezbytnými funkcemi.
5. Realizovat dílčí činnosti k obnově personálu EDU
   5.1 Realizovat dílčí činnosti k obnově personálu EDU v rozsahu uvedeném v příloze č.4 v záměru projektu.

Shrnutí hlavních prvků strategie dlouhodobého provozu (LTO) EDU je možno učinit v následujících bodech.

- Do roku cca 2017 probíhají investiční náklady, dle provedené studie, pro jednotlivé varianty LTO EDU (+10, +20 a +30 let) téměř shodně Proto bylo rozhodnuto o prodloužení provozu EDU prozatím na 40 let (do 2025) s perspektivou prodloužení až na 60 let (do 2045). V roce 2016 bude varianta LTO EDU upřesněna.
- Byla vyhodnocena technicko-ekonomická proveditelnost LTO EDU a bezpečnostní aspekty LTO EDU a stanoveny potřebné obměny zařízení. Výsledkem je harmonogram opatření nezbytných pro zajištění bezpečného LTO. Hlavní část opatření se týká oblasti PLIM a potřebné obnovy zařízení.
- Přijatelnost LTO EDU byla dokumentována v periodickém hodnocení bezpečnosti (PSR) po 30 letech provozu, aktualizované Předprovozní bezpečnostní zprávě (PpBZ) a bude vyhodnocena i v nové revizi dokumentace Programu zajištění LTO EDU (2016).
- Bylo stanoveno pravidelné informování a konzultace se SÚJB o aktuálním stavu přípravy a přístupu k zajištění LTO.
- Zvolený přístup l LTO EDU je mezinárodně ověřován SALTO Peer Review Misemi IAEA (první mise proběhla v roce 2008, další v letech 2011 a 2014). Nejbližší navazující Follow-up SALTO Peer Review Mise IAEA je plánována na říjen 2016.

1.5.4 Dlouhodobá koncepce lokality Dukovany

V roce 2012 byl zpracován dokument Dlouhodobá koncepce lokality Dukovany, který patří ke klíčovým dokumentům řízení portfolia aktiv ČEZ, a.s. Impulsem ke zpracování byla potřeba provázat záměr na výstavbu nového zdroje v lokalitě EDU s programem LTO EDU.

Dokument byl schválen poradou divizních ředitelů ČEZ, a.s. Aktualizace dokumentu je vázána na významné změny ovlivňujících faktorů, které jsou periodicky verifikovány.

Dokument posuzuje lokalitu komplexně v dlouhodobém horizontu (2045-47) z pohledu projektu, provozních a bezpečnostních ukazatelů, stavu zařízení, variant LTO EDU, možné výstavby nového zdroje a dalších faktorů v kontextu předpokládaného vývoje příslušné legislativy, bilance poptávky/nabídky na trhu s elektřinou a zpracované mapy rizik a příležitostí lokality. Byly zpracovány možné scénáře doby provozu EDU v souladu s variantami LTO EDU (0, +10, +20, +30 let) a komplexně hodnocen jejich dopad z výše uvedených hledisek na ČEZ, ČR (bezpečnost dodávek, stabilita sítě, energetická nezávislost, sociální dopad) a lokalitu Dukovany (zachování jako jaderné lokality) s vazbou na výstavbu nového zdroje.

Byly potvrzeny a upřesněny hlavní závěry technickoekonomického a bezpečnostního posouzení a rizikové analýzy z prvního projektu LTO EDU („Zajištění licence a připravenosti EDU pro provoz v období 2015 až 2025“), tzn. bezpečný provoz v horizontu 60 let (do 2045-47) je možný a s ohledem na cílený termín uvedení plánovaného nového jaderného zdroje v EDU do provozu po roce 2037 je z výše uvedených hledisek a dopadů žádoucí provoz minimálně do roku 2035-37.

V dokumentu byly formulovány úkoly vedoucí k naplnění těchto cílů a opětovně zadán úkol zpracovat aktualizaci technickoekonomického posouzení (T-E studie) provozu EDU za rok 2025 s určením optimální varianty včetně rizikové analýzy. Toto posouzení bude předloženo vedení ČEZ, a.s., do konce roku 2016 a na jeho základě bude rozhodnuto o realizaci druhého projektu LTO (LTO II EDU - Zajištění licence a připravenosti EDU pro provoz v období 2025 až 2035). Technickoekonomické posouzení, které se již zpracovává, je prvním krokem k projektu LTO II EDU, po rozhodnutí o jeho realizaci bude zpracována kompletní dokumentace LTO II EDU.

1.5.5 Přehled nejdůležitějších technických modifikací EDU

V níže uvedené tabulce je uveden přehled nejvýznamnějších technických modifikací EDU za dobu provozu. Tabulka ve sloupci Typ identifikuje primární zaměření modifikace (JB – zvýšení jaderné bezpečnosti, BO – zvýšení bezpečnosti obecně (radiační, požární a technické), OBN – obnova zařízení z důvodu životnosti, PSA – výsledky pravděpodobnostního hodnocení, PSR – periodické hodnocení bezpečnosti, OST – ostatní důvody – provozní optimalizace apod.). Ve sloupci Projekt je uvedeno, zda příslušná modifikace byla součástí nějakého širšího projektu a jeho název. V tabulce jsou uvedeny pouze ty modifikace, které byly pro provozní historii EDU a daný typ modifikace nejvýznamnější.

Tab. 5. Přehled nejvýznamnějších modifikací realizovaných v EDU

Typ	Název akce	Projekt	Cíl akce	Termín
JB	Zrušení startu APS a DG od technologických příčin SOB	PSA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	1993
BO	Chlazení střešní ocelové konstrukce strojovny 1-4.blok		Zvýšení požární bezpečnosti	1994
OST	Zkompaktnění bazénu VP		Řešení konce palivového cyklu	1994
JB	Systém varování a vyrozumění obyvatel		Zvýšení havarijní připravenosti	1994
JB	Průkaz odolnosti ucpávek HCČ	PSA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	1996
JB	100% záloha 4.systému zajištěného napájení I.kategorie	PSA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	1997
BO	Teledozimetrický systém okolí		Zvýšení radiační bezpečnosti	1997
JB	Rekonstrukce ochrany od signálu	MORAVA	Zvýšení jaderné	1998

Typ	Název akce	Projekt	Cíl akce	Termín
	roztržení HPK		bezpečnosti	
JB, BO	Ochrana kabelových prostor protipožárním nástřikem	MORAVA	Zvýšení požární bezpečnosti	1998-2004
JB	Instalace pasivních rekombinátorů pro likvidaci vodíku při nadprojektových haváriích	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	1999
JB	Projekt experimentální kvalifikace barbotážního kondenzátoru	PHARE TACIS	Průkaz splnění kvalifikačních požadavků	1999
JB	Ochrana sacích jímek v kontejnmentu	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2000
JB	Přemístění sekčního kolektoru SHNČ	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2000
OST, JB	Plnorozsahový trenažér	MORAVA	Zlepšení přípravy personálu	2000
OST, OBN	Záměna materiálu trubek HK za titan	MORAVA	Zlepšení vodního režimu II.O.	2000
JB	Odlehčovací ventil KO	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2000
JB	Osazení příruby na připojení požární vody do systému SHNČ	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2001
BO	Rozšíření funkce stabilního skrápěcího systému na další systémy sprchování	MORAVA	Zvýšení požární bezpečnosti	2001
BO, JB	Výměna dveří za kvalifikované požárně odolné	MORAVA	Zvýšení požární bezpečnosti	2001
JB	Kvalifikované měření hladiny a tlaku v kontejnmentu se zvýšenou odolností	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2001
JB	Havarijní odvzdušnění primárního okruhu)	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2002
JB	Omezovače švihnutí potrubí napájecí vody a páry	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2002
JB	Inovace bóroměrů	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2002
JB	Signalizace zaplavení sklepních prostor pod strojovnou	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2003
JB	Posouzení bezpečnostního problému barbotážního kondenzátoru	PHARE	Průkaz splnění kvalifikačních požadavků	2003
JB, BO	Automatické hašení na palubě HCČ	MORAVA	Zvýšení požární bezpečnosti	2004
JB	Bariéry proti tryskajícímu médiu a letícím předmětům	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2005
JB	Zodolnění SKŘ	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2005
JB	Drenážní trasa z paluby HCČ do boxu parogenerátorů	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2005
JB	Zodolnění vestaveb VBK	MORAVA	Zvýšení jaderné	2005

Typ	Název akce	Projekt	Cíl akce	Termín
			bezpečnosti	
OST	Rozšíření MSVP (nový sklad VP)	MORAVA	Řešení konce palivové cyklu	2006
BO, OBN	Rekonstrukce podružných rozvaděčů	MORAVA	Zvýšení požární bezpečnosti	2007
JB, BO	Dochlazení sudů s bitumenovým produktem s projevy termického rozkladu a úprava vzduchtechniky		Zvýšení jaderné bezpečnosti	2008
OST, JB	Náhrada NT dílu turbín	MORAVA	Ekonomický přínos a zvýšení bezpečnosti	2008
BO	Vedení TV kamery pro kontrolu vnitroreaktorových částí	MORAVA	Podpora řízení provozu	2008
JB, OBN	Obnova SKŘ – modul M1 a 2	MORAVA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2009
JB	Technické a podpůrné středisko	MORAVA	Zvýšení havarijní připravenosti	2009
JB, BO	Umístění svědečných vzorků betonu do šachty reaktoru	LTO	Zvýšení péče o zařízení	2009
JB	Odstranění nedostatků z kvalifikace elektrozařízení	LTO	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2009
JB	Doplnění seismického zodolnění kvalifikovaných potrubních úseků	LTO	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2009
BO	Zavedení odpovídajícího programu teplotechnických měření	LTO	Zvýšení péče o zařízení	2009
JB	Kvalifikace průchodek Salnik	LTO	Splnění kvalifikačních požadavků	2009
JB	Zodolnění tělesa kompenzátoru objemu proti kmitům	MORAVA/ LTO	Zjištění seismické odolnosti	2010
JB	Dostrojení omezovačů švihnutí HCP	MORAVA/ LTO	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2010
JB, BO	Doplnění seismické zodolnění zařízení SKŘ	LTO	Zjištění seismické odolnosti	2010
JB, BO	Zavedení měření fluence neutronů na vnější stěně TNR	LTO	Zvýšení péče o zařízení	2011
JB	Implementace SW nástroje pro možnost výcviku těžkých havárií.	LTO	Zvýšení havarijní připravenosti	2011
JB	Odstranění seizmických nedostatků z kvalifikace u el. zařízení	LTO	Splnění kvalifikačních požadavků	2012
JB	Zajištění seizmické odolnosti rozlivu TVD v chladicích věžích	LTO	Splnění kvalifikačních požadavků -zajištění seismické odolnosti	2012
JB	Zamezení úplné ztrátě chladiva při LOCA	LTO/PSR	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2012
OST	Modernizace zavážecího stroje	LTO	Udržení bezpečného provozu ZS	2012 - 2017
JB	Zodolnění vstupů do elektrických kanálů proti záplavám - extrémní dešťové srážky	Strestesty	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2013
JB	Zodolnění vstupů do DGS proti	Strestesty	Zvýšení jaderné	2013

Typ	Název akce	Projekt	Cíl akce	Termín
	záplavám - extrémní dešťové srážky		bezpečnosti	
JB	Zajištění obyvatelnosti BD a ND při těžké havárii - ventilace	LTO	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2013
JB	Zabezpečení zásoby vody pro dlouhodobé chlazení AZ při LOCA se zaplavením A 004	LTO/PSR	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2013 - 2014
JB, OST	Obnova SKŘ M3 až M5.	MORAVA	Zvýšení spolehlivosti a jaderné bezpečnosti	2014
JB	Chlazení TNR při řešení těžkých havárií	PSA/LTO	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2014
JB	Zodolnění objektů Reaktorovna HVB I,II a CČS I,II na extrémní vlivy“	Strestesty	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2014
JB	Doplňování reaktoru a BSVP při SBO	Strestesty	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2014
JB	Diverzní zdroj pro napájení ZN1 + vybrané spotřebiče ZN2	Strestesty	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2014
JB	Pořízení vnitřního monitorovacího systému seizmicity	LTO	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2014
JB	Realizace záložního elektrického napájení CO krytů pod AB1, PB1, PB2, HZSp a zařízení TSFO	Strestesty	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2014
JB	Alternativní mobilní zdroje elektrické energie	Strestesty	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2014
JB	Ochrana přesnosti měření hladin v PG		Zvýšení spolehlivosti a jaderné bezpečnosti	2014
JB	Doplnění 3 systému SHNČ	PSA/LTO	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2014
JB	Posílení rekombinátorů pro podmínky těžké havárie	PSA/Stresstesty	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2014
JB	Koncový jímač tepla – ventilátorové věže	PSR/PSA	Zvýšení jaderné bezpečnosti	2015-2017

1.6 Materiály zahrnuté jako reference

1.6.1 Hodnocení dle zpráv SÚJB

Státní úřad pro jadernou bezpečnost je nezávislý orgán státní správy, který je v České republice hlavním článkem státního dozoru v jaderné oblasti. Posláním úřadu je zajistit, aby mírové využívání jaderné energie a ionizujícího záření bylo v souladu s požadavky ochrany zdraví a životního prostředí a s požadavky jaderné bezpečnosti.

Souhrnné výsledky z kontrolní činnosti SÚJB jsou pravidelně každým rokem zpracovány a vydány v dokumentu „Zpráva o výsledcích činnosti SÚJB při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení a radiační ochranou“ [http://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/vyrocni-zpravy/vyrocni-zpravy-sujb/].

Zpráva SÚJB sestává z výsledků kontrolní činnosti SÚJB prováděné na jaderných zařízeních v ČR včetně EDU v následujících oblastech:

1. Státní dozor nad jadernou bezpečností
2. Státní dozor nad radiační ochrannou
3. Havarijní připravenost

Státní dozor nad jadernou bezpečností

V rámci dozoru nad jadernou bezpečností provádí SÚJB hodnocení provozu jaderných zařízení provozovaných na území ČR, včetně EDU. Úřad posuzuje, zda je elektrárna provozována v souladu s harmonogramem provozu a zda došlo k neplánovanému odstavení reaktoru. Dohlíží, zda jsou realizovány předepsané kontroly během odstávek a zda jsou prováděny jednotlivé akce, obsažené v Národním akčním plánu, plynoucí z provedených zátěžových testů tak, aby přijatá opatření byla splněna v daném časovém úseku (v případě EDU se jednalo například o dokončení seismického zodolnění budovy reaktorovny i strojovny, výstavbu nových chladicích ventilátorových věží, doplnění třetího superhavarijního napájecího čerpadla doplňování vody do parních generátorů apod.).

Provozovatel EDU eviduje a hlásí události, ke kterým na elektrárně došlo a SÚJB pak systémem zpětné vazby tyto události eviduje, kontroluje a hodnotí podle mezinárodní stupnice INES. Hodnotí také, zda došlo k porušení Limitů a podmínek (LaP) při provozu EDU.

Jaderná bezpečnost je za provozu elektrárny kontrolována inspektory SÚJB zejména během pravidelných měsíčních kontrol jednotlivých bloků a v průběhu pravidelných odstávek na výměnu paliva, kdy je rovněž kontrolována připravenost k opětovnému spuštění reaktorů. Kontroly jsou prováděny buď jako plánované (podle ročního plánu kontrol), neplánované (na základě vzniklých potřeb a zjištění při dozorné činnosti) nebo jako pravidelné měsíční kontroly. Většina těchto kontrol se zaměřuje na více oblastí (Provoz, Údržba, Technická a inženýrská podpora, Radiační ochrana, Jaderné materiály).

Státní úřad pro jadernou bezpečnost dále provádí hodnocení provozně bezpečnostních ukazatelů, které je shrnuto v samostatné zprávě „Hodnocení souboru provozně – bezpečnostních ukazatelů“ [https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/hodnoceni-jaderne-bezpecnosti/].

Soubor provozně – bezpečnostních ukazatelů je rozdělen do čtyř oblastí: Události, Provoz bezpečnostních systémů, Těsnost bariér a Radiační ochrana. Pro oblast Události se hodnotí ukazatele jako počet hlášených událostí orgánu dozoru nad jadernou bezpečností, počet neplánovaných rychlých odstavení reaktoru, neplánované snížení výkonu či porušení LaP. Provoz bezpečnostních systémů je hodnocen na základě dvou skupin ukazatelů, a to neprovozuschopnost bezpečnostních systémů a selhání bezpečnostních systémů. V těchto dvou skupinách jsou hodnoceny ukazatele jako doba trvání neprovozuschopnosti, frekvence neprovozuschopnosti, počet selhání BS při startu, nespolehlivost systému při startu BS apod. Těsnost bariér je posuzována na základě dvou skupin ukazatelů - Jaderné palivo a Hermetická obálka – hodnotí se například spolehlivost jaderného paliva, počet netěsných (vyřazených) palivových souborů, těsnost hermetických prostor apod. Oblast Radiační ochrana hodnotí skupiny ukazatelů pro personál a pro radioaktivní výpusti. V této oblasti se sledují ukazatele jako kolektivní efektivní dávka na blok, průměrná individuální efektivní dávka, maximální individuální efektivní dávka a efektivní dávky z plynných a kapalných výpustí.

Provoz EDU je úřadem na základě výsledků kontrol a hodnocení bezpečnostních ukazatelů dlouhodobě hodnocen jako bezpečný a spolehlivý. Podrobné výsledky kontrol jsou uvedeny ve výše zmíněné zprávě SÚJB [https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/hodnoceni-jaderne-bezpecnosti/].

SÚJB dohlíží také na skladování vyhořelého jaderného paliva. Zabývá se otázkou vývoje hlubinného úložiště a dále hodnotí provoz skladů vyhořelého jaderného paliva v Dukovanech a Temelíně (v EDU se jedná o Mezisklad vyhořelého jaderného paliva (MSVP) a Sklad vyhořelého jaderného paliva (SVP)). SÚJB posuzuje v rámci kontrol, zda je vyhořelé jaderné palivo v těchto zařízeních skladováno v souladu s požadavky právních předpisů a SÚJB schválenými Limity a podmínkami bezpečného skladování vyhořelého jaderného paliva a zda je VJP skladováno v typově schválených obalových souborech.

V oblasti fyzické ochrany SÚJB zaměřuje své kontroly na bezpečnostní způsobilost pro výkon citlivých činností, kontrolu součinnostních cvičení provozovatele, bezpečnostní služby a

policie při zajištění fyzické ochrany JE. Součástí kontrol jsou také připravované aktivity na EDU v souvislosti s výsledky zátěžových testů a přípravy nové legislativy zohledňující požadavky mezinárodních doporučení, a to v oblasti vymezení životně důležitých prostorů, zajištění napájení technických systémů fyzické ochrany (TSFO), zajištění počítačové bezpečnosti, ověřování bezpečnostní způsobilosti a opatření v případě pádu letadla.

Radiační ochrana

SÚJB v rámci výkonu dozoru v oblasti radiační ochrany eviduje pracoviště se zdroji ionizujícího záření a vydává či odebírá povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření. Na těchto pracovištích provádí kontrolní činnost. Výsledky kontrol následně klasifikuje na základě zjištění, které z kontroly vyplynuly, a v některých případech může i omezit či pozastavit činnost vedoucí k ozáření. Shrnutí výsledků kontrol je uvedeno ve zprávě [http://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/vyrocni-zpravy/vyrocni-zpravy-sujb/].

V rámci radiační ochrany SÚJB věnuje svou pozornost také hodnocením a kontrole nakládání s radioaktivními odpady (RaO) v jaderných zařízeních, posuzování dokumentace k žádostem o povolení k nakládání s RaO a minimalizaci tvorby RaO. Úřad eviduje množství, které bylo v jaderných zařízeních vyprodukováno a které je následně ukládáno v jednotlivých úložištích radioaktivních odpadů (ÚRAO Dukovany v případě EDU).

V oblasti ochrany zdraví osob před nepříznivými účinky ionizujícího záření je úřadem sledováno ozáření radiačních pracovníků a obyvatelstva. U pracovníku na jaderných elektrárnách jsou sledovány efektivní dávky jak individuální tak kolektivní. Z hlediska radiační ochrany personálu a celkové kolektivní efektivní dávky patří EDU dlouhodobě mezi nejlepší JE na světě.

Do oblasti radiační ochrany spadá také hodnocení havarijní připravenosti. Ve své zprávě [http://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/vyrocni-zpravy/vyrocni-zpravy-sujb/] SÚJB shrnuje hodnocení připravenosti jednotlivých orgánů, které v případě radiační události zasahují. Provádí se nepravidelné kontroly spojení bez dojezdu, s dojezdem do JE popř. cvičná svolání z důvodu prováděných plánovaných cvičení, čímž se prověřuje akceschopnost těchto orgánů.

SÚJB je dále pověřen řízením Celostátní radiační monitorovací sítě (RMS), na jejíž činnosti se podílí také Státní ústav radiační ochrany (SÚRO). Pomocí RMS se monitoruje zevní ozáření a jednotlivé složky životního prostředí. Výsledky monitorování radiační situace radiační monitorovací sítí jsou shrnuty v části II zprávy [http://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/vyrocni-zpravy/vyrocni-zpravy-sujb/]. Dále SÚJB zajišťuje nezávislé monitorování výpustí a okolí jaderného zařízení (JZ) a zároveň prověřuje dodržování zákonných povinností provozovatele JZ, jenž je povinen zabezpečit monitorování JZ, výpustí do životního prostředí a monitorování okolí tohoto zařízení. U JE se provádí monitorování plynných výpustí do ovzduší a kapalných výpustí do vodotečí a monitorování okolí JZ. Rovněž tyto výsledky monitorování jsou shrnuty v části II zprávy [http://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/vyrocni-zpravy/vyrocni-zpravy-sujb/].

1.6.2 Hodnocení dle externích mezinárodních misí

Tab. 6. Přehled mezinárodních misí na EDU1-4

Rok	Název mise	Organizace	Náplň	Závěrečná zpráva
1989	OSART	IAEA	Revize provozní bezpečnosti ve všech oblastech provozu v JE Dukovany	„OSART Technical Notes to Czechoslovakia„, IAEA 1989 „Technické poznámky mise OSART pro Československo“
1991	RE-OSART	IAEA	Inspekce plnění doporučení a návrhů z mise OSART 1989 v oblasti údržby	„Zpráva o plnění doporučení mise OSART v oblasti údržby“
1993	ASSET	IAEA	Hodnocení bezpečnostně významných událostí	„ASSET Mission to the Dukovany NPP in Czech Republic“, IAEA 1993 „Závěrečná zpráva mise ASSET pro JE Dukovany“

Rok	Název mise	Organizace	Náplň	Závěrečná zpráva
1994 - 1995	Technický audit	ENAC	Posouzení technického stavu systémů JE Dukovany	„VVER 440-213 Engineering Safety Evaluation - Dukovany NPP Final Evaluation Report“, ENAC, May 1996 „Závěrečná zpráva vyhodnocení technické bezpečnosti JE Dukovany“
1995	Safety Issues	IAEA	Revize opatření EDU na problémy bezpečnosti vytipované v letech 94-95 konzultanty IAEA	„A Safety Improvement Review Mission to Dukovany NPP“, IAEA 1996; „Revize bezpečnostních opatření na JE Dukovany“
1996	ASSET	IAEA	Hodnocení bezpečnostně významných událostí	„Revize sebehodnocení JE Dukovany v oblasti provozních událostí týkajících se bezpečnosti provozu“
1996	Účel: „Pojištění“	March & McLeuman	Hodnocení požárních rizik pro účely pojištění JE	„Fire Protection Evaluation of Dukovany NPP“ - „Hodnocení protipožární ochrany JE Dukovany“
1996	Účel: „Pojištění“	Gradmann & Holler	Hodnocení rizika poruch strojního zařízení	„Survey Report on Machinery Breakdown Risks of Dukovany NPP“ „Inspekce pro zjištění rizika poruchy strojního zařízení v JE Dukovany„
1997	Účel: „Pojištění“	Český jaderný pool	Mezinárodní inspekce rizik elektrárny na stanovení důležitých skutečností pro pojištění prostřednictvím jaderných poolů.	„Zpráva techniků jaderného sdružení o inspekci rizika na JE Dukovany“ „Možnosti pojištění jaderné odpovědnosti“, 19.2.1997 „Pojistná smlouva pro krytí odpovědnostních rizik z provozu JE Dukovany“, 15.12.1997
1997	Peer Review	WANO	Prověrka systémů a pracovních postupů dle kritérií INPO	„WANO Peer Review of Dukovany NPP, ČEZ“ , WANO 22.12.1997 „Partnerská prověrka JE Dukovany týmem WANO“
1998	IPERS	IAEA	Prověrka správnosti studie PSA-1	„Report of the IPERS Review Mission for the Dukovany NPP - PSA Level 1“ „Zpráva z prověrky mise IPERS v JE Dukovany – PSA-1“
1998	IPPAS	IAEA	Prověrka fyzické ochrany EDU	„International Physical Protection Advisory Service (IPPAS) Mission Report“ „Zpráva mise mezinárodní poradenské služby k fyzické ochraně (IPPAS) “
1999	Peer review, follow-up	WANO	viz zpráva	Prověrka plnění závěru WANO PEER REVIEW z roku 1997

Rok	Název mise	Organizace	Náplň	Závěrečná zpráva
1999	Bezpečný podnik	Oblastní inspektorát práce	Prověrka plnění požadavků na ochranu bezpečnosti a zdraví při práci	Osvědčení bezpečný podnik
2000	Účel: „Pojištění“	Český jaderný pool	Průběžná inspekce pojišťovacích rizik	„Zpráva o průběžní inspekci JE Dukovany“
2001	Certifikační audit	Det Norske Veritas	Audit vlivu JE Dukovany na životní prostředí	Certifikát dle ISO 14001
2001	OSART	IAEA	Prověrka provozní bezpečnosti	„Závěrečná zpráva mise OSART“
2003	RE-OSART	IAEA	Opakovaná prověrka provozní bezpečnosti.	„Závěrečná zpráva mise RE-OSART“
2004	Recertifikační audit	Det Norske Veritas	Audit vlivu JE Dukovany na životní prostředí	Certifikát dle ISO 14001
2007	Recertifikační audit	Det Norske Veritas	Audit vlivu JE Dukovany na životní prostředí	Certifikát dle ISO 14001
2007	Peer Review	WANO	Bezpečnostní aspekty organizace a řízení, provozu, údržby, inženýrské podpory, využívání zpětné vazby provozních zkušeností, radiační ochrany, chemie a přípravy personálu	„WANO Peer Review of Dukovany NPP, June 2007“ „Partnerská prověrka JE Dukovany týmem WANO“
2008	SALTO	IAEA	Bezpečnostní aspekty dlouhodobého provozu JE	Report “A PEER REVIEW MISSION FOR DUKOVANY NUCLEAR POWER PLANT IN CZECH REPUBLIC”
2009	Peer Review, Follow up	WANO	Následná mise Wano Peer Review 2007	Závěrečná zpráva předaná vedení ČEZ, a. s.
2010	Účel: „získání podrobností pro zhodnocení rizik souvisejících s pojištěním majektu “	EMANI	Průběžná riziková inspekce ke zjištění stávajícího stavu ochranných systémů a k získání podrobností pro zhodnocení konstrukcí, způsobu užívání, speciálních rizik a vystavení majetku rizikům	Závěrečná zpráva předaná vedení ČEZ, a. s.
2011	OSART	IAEA	Prověrka provozní bezpečnosti	Závěrečná zpráva předaná vedení ČEZ, a. s.
2011	Zátěžové testy– Stresstesty	ENSREG, SÚJB	Požadavek na posouzení a zhodnocení odolnosti evropských JE vůči extrémním a velmi nepravděpodobným jevům v návaznosti na havárii JE Fukushima Dai-ichi	Národní zpráva „Zátěžové zkoušky“ JE Dukovany a JE Temelín Česká republika Hodnocení bezpečnosti a bezpečnostních rezerv ve světle havárie JE Fukushima. SÚJB

Rok	Název mise	Organizace	Náplň	Závěrečná zpráva
2012	Peer Review	WANO	Bezpečnostní aspekty organizace a řízení, provozu, údržby, inženýrské podpory, využívání zpětné vazby provozních zkušeností, radiační ochrany, chemie a přípravy personálu	Závěrečná zpráva předaná vedení ČEZ, a. s.
2013	Follow up - OSART	IAEA	Opakovaná mise provozní bezpečnosti.	„Závěrečná zpráva mise Follow up -OSART“
2014	Peer Review, Follow up	WANO	Následná prověrka WANO Peer Review 2012	Závěrečná zpráva předaná vedení ČEZ, a. s.
2014	SALTO	IAEA	Bezpečnostní aspekty dlouhodobého provozu JE	Závěrečná zpráva předaná vedení ČEZ, a. s.

1.6.2.1 Shrnutí mise OSART 2011

V červnu 2011 proběhla na EDU již potřetí Mise OSART, tj. prověrka způsobu provozování a rozvoje EDU. Mise slouží k porovnání praxe v EDU s mezinárodními standardy a doporučeními IAEA v 9 odborných oblastech a sleduje i společný přístup všech zúčastněných ke kultuře bezpečnosti.

Ředitelem EDU byl jmenován přípravný tým, který stanovil rámcové úkoly pro zajištění akce a celkový harmonogram přípravy, jejímž cílem byla komplexní příprava JE Dukovany na prověrku. 23. 6. 2011 byla 3. mise OSART ukončena s konstatováním, že EDU je velmi dobře provozovaným jaderným zařízením.

V Závěrečné zprávě byly EDU doporučeny 3 změny a v 11 případech navržena další možnost zlepšení stávajících postupů. Mise OSART na EDU definovala 10 dobrých praxí, které bude doporučovat na mezinárodním webu ostatním provozovatelům jaderných elektráren. Z tohoto důvodu byla Mise OSART 2001 byla hodnocena jako velmi úspěšná v mezinárodním srovnání.

1.6.2.2 Shrnutí mise WANO PEER REVIEW 2012

V září 2012 proběhla na EDU již třetí prověrka WANO PEER REVIEW, tj. prověrka bezpečného provozování EDU. Mise slouží k porovnání praxe v EDU s mezinárodními standardy (WANO Performance Objectives and Criteria) a nejlepší světovou praxí. WANO v 10 odborných oblastech, sleduje i společný přístup všech zúčastněných ke kultuře bezpečnosti a navíc hodnotí i nápravná opatření přijata na základě doporučení ze zpráv SOER.

Ředitelem EDU byl jmenován přípravný tým, který stanovil rámcové úkoly pro zajištění akce a celkový harmonogram přípravy, jejímž cílem byla komplexní příprava JE Dukovany na prověrku. 27. 9. 2012 byla 3. prověrka WPR ukončena s konstatováním, že EDU je velmi dobře provozovaným jaderným zařízením.

V Závěrečné zprávě bylo EDU doporučeno 19 oblastí pro zlepšení stávajících postupů. Prověrka na EDU definovala 4 dobré praxe a 5 silných stránek, které bude doporučovat ostatním provozovatelům jaderných elektráren.

1.6.2.3 Shrnutí mise Follow – up OSART 2013

V červenci 2013 proběhla na EDU následná Follow-up Mise OSART, která přijela zkontrolovat, jak elektrárna zareagovala na doporučení a návrhy definované při misi OSART 6. – 23.6. 2011 v 9 odborných oblastech.

Pracovní tým pro přípravu mise OSART Dukovany v roce 2011 stanovil systémová nápravná opatření, rozpracoval konkrétní úkoly a celkový harmonogram realizace.

V Závěrečné zprávě byly v roce 2011 EDU doporučeny 3 změny a v 11 případech navržena další možnost zlepšení stávajících postupů. Mise Follow up OSART v červenci 2013

po provedených kontrolách konstatovala úplné vyřešení definovaných námětu na zlepšení v 9 případech a v dalších 5 zřetelný pokrok směřující k cílovému řešení. Na závěr FU OSART tým leader mezinárodního týmu p. Lipár konstatoval, že EDU je velmi dobře provozovaným jaderným zařízením.

1.6.2.4 Shrnutí mise Follow – up WANO PEER REVIEW 2014

V říjnu 2014 proběhla na EDU následná prověrka Follow-up WANO PEER REVIEW, která přijela zkontrolovat, jak elektrárna zareagovala na návrhy definované při prověrce WANO PEER REVIEW v září 2012 v odborných oblastech.

Pracovní tým pro přípravu prověrky WANO PEER REVIEW Dukovany v roce 2012 stanovil systémová nápravná opatření, rozpracoval konkrétní úkoly a celkový harmonogram realizace.

V Závěrečné zprávě bylo v roce 2012 EDU doporučeno 19 oblastí pro zlepšení stávajících postupů. Mise Follow – up WANO PEER REVIEW v říjnu 2014 po provedených kontrolách konstatovala úplné a uspokojivé vyřešení 5 navrhovaných opatření a u 14 oblastí stále probíhající úpravy pro splnění navrhovaných opatření.

1.6.2.5 Shrnutí mise SALTO 2014

Mezinárodní tým odborníků na jadernou bezpečnost, který byl vyslán Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA) hodnotil od 18. do 27. listopadu připravenost JE Dukovany na prodloužený provoz za projektovou životnost. Tým SALTO (Safety Aspects of Long Term Operation - bezpečnostní aspekty prodlužování provozu za hranici životnosti) přezkoumal organizaci a programy vztahující se k dlouhodobému provozu, včetně lidských zdrojů a řízení znalostí.

Tým zjistil několik oblastí, kde by mohlo dojít, a dle plánovaného harmonogramu i dochází, ke zlepšení bezpečnosti provozu a vedení elektrárny Dukovany se zavázalo provést doporučení, jehož provedení agentura IAEA opět zkontroluje při další misi za 18 měsíců.

Tým také v elektrárně zjistil řadu osvědčených postupů a dobrých praxí, které budou sdíleny v dalších jaderných elektrárnách po celém světě, jako například:

- komplexní péče o tlakovou nádobu reaktoru;
- systém pro průběžné monitorování prostředí pro potřeby kvalifikace zařízení;
- zavedení efektivní strategie údržby, dle metodologie EPRI.

1.6.2.6 Shrnutí Zátěžových testů

V roce 2011 byly na základě událostí v JE Fukushima Dai-ichi provedeny tzv. Zátěžové testy na všech JE v EU včetně EDU a jaderných elektráren v dalších státech, které se k iniciativě EU připojily. Zátěžové testy měly za úkol určit odolnosti JE vůči extrémním a velmi nepravděpodobným jevům, vůči kterým nemusí být projekt JE dostatečně připraven. Technický obsah testů byl definován sdružením evropských dozorných orgánů ENSREG.

Výstupem zátěžových testů je dokument „Národní zpráva – Zátěžové zkoušky“ vydaný SÚJB ČR v prosinci 2011. Z hodnocení byly v Národní zprávě pro každou alternativu nadprojektových a extrémně nepravděpodobných událostí, shrnuty doporučení pro zlepšení odolnosti proti uvedeným událostem. Některé z uvedených návrhů jsou již v realizaci (např. zvyšování seizmické odolnosti EDU), popř. byly již dříve identifikovány v rámci PSR (nový koncový jímač tepla – ventilátorové věže), což lze chápat jako potvrzení správnosti jejich dřívější identifikace a postupné realizace.

Zpráva v závěrečném zhodnocení zdůrazňuje skutečnost, že území ČR není vystaveno extrémním podmínkách přírodních jevů, jako jsou zemětřesení, záplavy, extrémní klimatické podmínky apod., které by mohly ohrozit bezpečnost EDU.

1.6.3 Přehled nejdůležitějších provozních událostí a jejich hodnocení

Pro vyhodnocení závažnosti provozních událostí je používána stupnice INES (International Nuclear Event Scale). Tato stupnice slouží k okamžitému poskytnutí informací, ze kterých má být zřejmý i bezpečnostní význam havárie a její pravděpodobné důsledky. Stupnice byla ustanovena expertní skupinou, kterou nominovali společně IAEA a OECD/NEA, jako prostředek

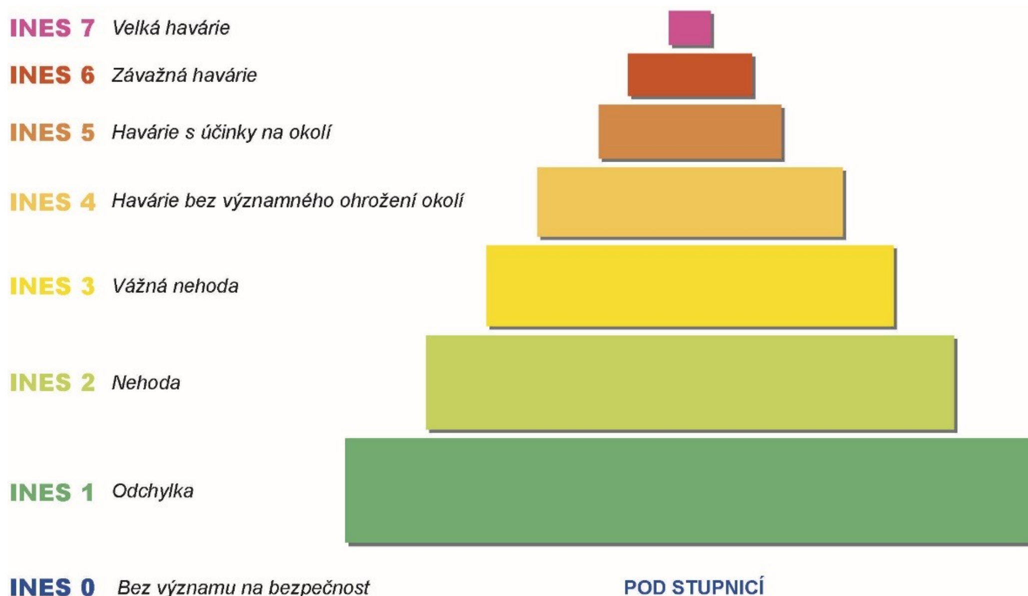
pro rychlé informování veřejnosti o událostech na jaderných zařízeních, a to jednotným způsobem z pohledu závažnosti provozních událostí na jaderných elektrárnách.

Přiměřeným uspořádáním provozních událostí podle jejich významnosti podle této stupnice je umožněna srozumitelná komunikace mezi jadernými odborníky, médii a veřejností. Při tvorbě stupnice byly využity zejména zkušenosti Francie a Japonska, kde již byly obdobné národní stupnice zavedeny do praxe. Stupnice jednoduchými pojmy pojmenovává a kvantifikuje havárie, nehody, resp. provozní odchylky, ke kterým může v JE dojít.

Události na jaderných elektrárnách a jaderných zařízeních jsou podle této stupnice hodnoceny podle třech základních kritérií:

- Dopad na lidi a životní prostředí,
- Vliv na radiologické bariéry a na ovládání zařízení, ve kterém se nakládá se značným množstvím radioaktivních materiálů,
- Vliv na ochranu do hloubky.

Události jsou zařazovány do osmi stupňů, zřejmých z následujícího obrázku.



Obr. 9. Stupnice INES pro hodnocení jaderně-bezpečnostních událostí.

Pro zařazování událostí je využíván následující postup:

- události zařazené do vyšších stupňů (INES 4 až INES 7) se nazývají havárie (*angl.:* Accidents),
- události zařazené do nižších stupňů (INES 1 až INES 3) se nazývají nehody (*angl.:* Incidents), nebo odchylky (*angl.:* Anomalies) a
- události, které nemají bezpečnostní význam (INES 0) se zařazují pod stupnici (*angl.:* Below Scale).

Stupnice hodnotí pouze ty události, které souvisí s jadernou bezpečností. Události, které s jadernou bezpečností nesouvisí, se označují jako mimo stupnici (*angl.:* Out of Scale). Do této kategorie patří například průmyslová havárie nebo jiné události, které mají vliv pouze na provoz turbíny nebo generátoru.

V současné době je hodnocení podle stupnice rozšířené i na události související s radioaktivními zářiči, zdroji ionizujícího záření a s přepravou zářičů a radioaktivních materiálů.

Stupnice INES nenahrazuje interní kritéria pro klasifikaci závažnosti nehody nebo havárie v jednotlivých zemích a při hodnocení havárií má vždy přednost systém používaný v příslušné zemi.

Každá členská země je povinna v přesně stanoveném termínu informovat koordinační centrum IAEA o každé nehodě a havárii. Absolutní většina hlášených událostí na jaderných elektrárnách je pod 3. stupněm. Havárie s účinkem na okolí (stupeň 4) jsou výjimečné a jako

příklad je možné uvést historickou havárii na JE A1 v Jaslovských Bohunicích (1977). Havárie jaderné elektrárny stupně 5 byly doposud na světě jen dvě: na JE Windscale (Anglie, 1957) a JE Three Mile Island (USA, 1979). Havárie 6. stupně nebyla žádná. Do nejvyšší kategorie havárie 7. stupně patří JE Černobyl (Ukrajina, 1986) a JE Fukushima Daiichi (Japonsko, 2011).

Za dosavadní dobu provozu JE Dukovany se pouze 1 krát (v roce 1990) vyskytla událost hodnocená stupněm 2 viz. následující tabulka.

Tab. 7. Události na EDU hodnocené stupněm >1 dle INES od roku 1985

Rok	č. ud./blok	Název
1990	186/1	Výpadek 1.,2. a 4.RB od výpadku linek 400 kV po chybné manipulaci v rozvodně Slavětice

Události na EDU hodnocené stupněm 1 dle INES od roku 1995 jsou v následující tabulce.

Tab. 8. Události na EDU hodnocené stupněm 1 dle INES od roku 1995

Rok	č. ud./blok	Název
1995	1/1	Voda v oleji DG 3 způsobena nedostatečnou kvalitou materiálu a konstrukce olejových chladičů DG.
1995	9/3	Kontaminace potrubí ostré páry PG 31 způsobená průnikem aktivního prášku do sekundární části PG – porušení Limitů a podmínek (LaP).
1995	26/1	Zajištění superhavarijního čerpadla č. 2 pro zkoušku ochran a blokád při současně strojně zajištěném DG 1 - Porušení LaP
1995	51/4	Nepovolené natlakování PG3 a PG5 při teplotě kovu PG pod 70°C v důsledku nedostatků v provozním předpise a nedostatečné pozornosti personálu BD. Porušení LaP.
1995	56/4	Zapůsobení HO-1 na 2. kompletu havarijních ochran od signálu havarijní výkon (simulovaný signál). Porušení LaP.
1996	21/3	Zapůsobení SOBII/1 a SOBIII/2 od falešného signálu způsobeného nedostatečnou komunikací mechanikem MaR při seřizování čidel na společném impulsním potrubí s čidly SOB. Start čerpadla vysokotlakého 3TJ41D01.
1996	36/4	Odstavení DG12 z důvodu prasknutí hadice přívodu paliva k manometru na měření stendu. Lidský faktor provozu, vada zařízení - výrobní vada hadice.
1996	51/4	Působení HO-1 od havarijního výkonu po chybné manipulaci operátora reaktoru na zařízení nastavení mezí HO.
1997	35/2	Uzavřené armatury na superhavarijních napájecích hlavách, porušení LaP z důvodu nedostatků v provozní dokumentaci.
1997	54/4	Zapůsobení HO-3 s přechodem na HO-2 z důvodu chybné manipulace směnového mistra MaR při provádění plánovaného testu ARM s následným odstavením reaktoru tlačítkem HO-1 po ztrátě kontroly n-toku operátorem reaktoru..
1998	6/9	Na systému dochlazovacích čerpadel nebyla provedena pravidelná kontrola ochran a blokád (interval 3 měsíce) z důvodu nevhodně zavedené změny v harmonogramu zkoušek. Porušení LaP. Chyba personálu.
1998	16/3	Předčasné otevření pojistného ventilu PG (3RA56S06) při náběhu 3. RB z důvodu přerušení proudu vzduchu v ŘS vlivem přetažení Bourdonské pružiny. Vada zařízení.
1998	27/3	Působení HO-1 od havarijního výkonu v EP při přestavování mezí působení HO operátorem. Příčina nezjištěna.
2000	11/1	Neodzkoušení HNČ1 a SHNČ2 před plánovaným zajištěním DG-QW, porušení LaP. Lidský faktor řídícího personálu.
2001	14/4	Přerušení testu fyzikálního spouštění z důvodu přechodné ztráty měření n - toku

Rok	č. ud./blok	Název
		aparaturou AKNT s porušením limitní podmínky při zvedání HRK ve spouštěcím intervalu. Nedostatky předpisu.
2002	2/1	Současné zajištění obou blokových čerpadel TVD I. a III. systému (č.TVD 9,10; 5,6). Porušení LaP. Lidský faktor řídícího personálu.
2002	11/2	Zapůsobení HO-3 s přechodem na HO-2 od nízkého tlaku v primárním okruhu při promíchávání kompenzátoru objemu (KO) a následné odstavení reaktoru tlačítkem HO-1 operátorem I.O. Chyba personálu.
2003	42/4	Opožděné připojení hydroakumulátorů (4TH10-13B01 k I.O) při spouštění bloku po odstávce. Nedostatky předpisu.
2006	31/9	Přechod všech bloků EDU do ostrovního provozu po výpadku několika přenosových linek 400 kV z důvodu zkratu v rozvodně Sokolnice. Lidský faktor pracovníka rozvodny.
2007	5/3	Nedostatky v přípravě části operativního programu (OP 03/07 „Odstavování 3.RB do GO“) týkající se měření saturačních křivek LL detektorů n-toku z důvodu neúplnosti dokumentace - chybějící kritéria požadovaných fyzikálních podmínek pro zahájení měření. Lidský faktor. SOUČÁST: Provozní personál BD nepostupoval dostatečně konzervativně při zasouvání 6. skupiny HRK při odstavování 3. RB dle požadavků OP 03/07, čímž došlo ke krátkodobému snížení zásoby záporné reaktivity a tím i k neplánovanému čerpání limitní podmínky (LaP). Lidský faktor.
2008	19/2	Nevhodnou činností - nepozorností při fotografování na nouzové dozorně (ND) specialisty SKŘ došlo k impulsu na uzavření hlavní uzavírací armatury na 4. chladící smyčce I.O (HUA 2YA14S02) a následnému přechodovému stavu na 2. reaktorovém bloku. Lidský faktor.
2010	17/3	Závada signalizace na pohavarijním monitorovacím systému (3PAMS1-) pro RČA 3TH21S03, 3TH21S04, 3TH21S05, 3TH21S06, 3TQ21S03 a 3TK12S05, chybné zapojení, nezjištěná vada projektu. SOUČÁST: Nezjištění chybějící signalizace na PAMS1 při kontrole stavu RČA personálem před přechodem při náběhu 3.bloku, porušení LaP. Lidské faktory, nedostatek dokumentace (postupu zkoušek).
2012	09/03	Nepřipojení konektorů – kabelů pro detektory DPZ po plánované kontrole pracovníky firmyI&C Energo na systému IN-CORE na 3. RB z důvodu chybného předání prací dvěma vedoucími pracovní skupiny při nástupu na dovolenou. Lidský faktor dodavatele. SOUČÁST: Nesprávným zvýšením výkonu Re nad 35% při neprovozuschopném systému SCORPIO (vysoký počet nevalidních detektorů DPZ) došlo k nedodržení pravidel podle LaP a to z důvodu chybné komunikace řídícího provozního personálu při přípravě plánovaných fyzikálních testů a nezachycení poruchové signalizace na obrazovce SCORPIO v průběhu náběhu bloku po odstávce. Lidský faktor obsluhy blokové dozorny (BD).
2014	41/4	Netěsnosti na linii technické vody důležité (TVD II) na výstupu z čerpací stanice (CČS II), které nastaly z důvodu nejakostně provedeného svaru na potrubí a nesprávného uložení potrubí v době výstavby, které stávající systém sledování stavu zařízení včas neodhalil. Nedostatek dokumentace.

1.7 Aplikované předpisy z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany

Mezivládní dohoda mezi bývalou ČSSR a SSSR z roku 1970, citovaná již v kapitole 1.4, obsahovala základní ustanovení o zpracování projektové dokumentace pro přípravu a realizaci EDU. K vyřešení rozhraní mezi normami, standardy a postupy vyžadovanými československým právním systémem v 70. a 80. letech a normami a standardy, podle kterých byl původní projekt VVER 440 zpracován sovětským projektantem a v zemi původu schválen (tj. podle

sovětských norem a standardů), byly dohodnuty zóny projektování s odlišnými postupy zpracování dokumentace a jejího projednání.

Sovětská zóna projektování zahrnovala části elektrárny, pro které sovětská strana zpracovala prováděcí projekty. Byly to části, které mají vliv na jadernou bezpečnost. Ostatní části projektu byly označeny jako československá zóna projektování.

Podkladem pro projednání a rozhodnutí o povolení stavby EDU byla dvoustupňová dokumentace (projektový úkol a úvodní projekt a další související dokumentace především k posouzení vlivu na životní prostředí) a bezpečnostní zprávy zpracované projektovou a inženýrskou firmou ENERGOPROJEKT PRAHA. Výchozím projektovým podkladem pro dokumentaci zpracovanou firmou ENERGOPROJEKT PRAHA byl sovětským projektantem zpracovaný „technický projekt JE V2 upravený pro EDU" a „zpráva o bezpečnosti". Při povolování stavby EDU byla její dokumentace posuzována z hlediska splnění československých norem a předpisů. V sovětské zóně projektování byl při posuzování dokumentace brán zřetel na rozsah informací a řešení uvedených ve standardizovaném projektu schváleném v zemi původu projektu elektrárny.

Zajištění jaderné bezpečnosti EDU při umístění, stavebním řízení a povolením provozu posuzovala ČSKAE[7] na základě zadávací, předběžné a předprovozní bezpečnostní zprávy, zadávacího programu zajištění jakosti a programu jakosti, dokumentace pro spouštění a provoz a dokumentace pro přípravu personálu. Požadavky k posouzení předložené dokumentace byly shrnuty ve výnosech vydaných ČSKAE. Závazek stavebníka splnit požadavky ČSKAE byl vyjádřen podmínkou uvedenou v zák. 50/1976 Sb., stavební zákon, doložit souhlas uvedeného orgánu s vydáním územního rozhodnutí, stavebního povolení, souhlasu k předčasnému zahájení provozu a ke kolaudaci jaderné elektrárny.

Při posuzování dokumentace EDU z hlediska jaderné bezpečnosti se uplatnily následující 4 výnosy:

- Výběr lokality a staveniště k umístění EDU byl posuzován a schválen podle výnosu ČSKAE č. 4 z 31. března 1979 o obecných kritériích zajištění jaderné bezpečnosti při umísťování staveb s jaderně energetickým zařízením.
- Technické požadavky k zajištění jaderné bezpečnosti byly posuzovány podle výnosu ČSKAE č. 2 z 27. října 1978 o zajištění jaderné bezpečnosti při navrhování, povolování a provádění staveb s jaderně energetickým zařízením.
- Zajištění jakosti vybraných zařízení bylo posuzováno podle výnosu č. 5 ČSKAE ze 14. listopadu 1979 o zajištění jakosti vybraných zařízení v jaderné energetice z hlediska jaderné bezpečnosti. Výnos byl vydán po dohodě s Českým úřadem bezpečnosti práce.
- Příprava spouštění a provoz jaderného zařízení v EDU bylo posuzováno podle výnosu SÚJB č. 6 z 23. 1. 1980 o zajištění jaderné bezpečnosti při spouštění a provozu jaderně energetických zařízení.

Uvedené výnosy byly následně nahrazeny vyhláškami, které jsou průběžně novelizovány a harmonizovány s požadavky a doporučeními IAEA, směrnicemi EK a požadavky sdružení jaderných dozorů WENRA. V současnosti se jedná o následující vyhlášky, které vydal SÚJB k provedení zákona 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a IZ (atomový zákon):

- Vyhláška č. 144/1997 Sb., o fyzické ochraně jaderných materiálů a jaderných zařízení a o jejich zařazování do jednotlivých kategorií
- Vyhláška č. 146/1997 Sb., stanovující činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, požadavky na kvalifikaci a odbornou přípravu, způsob ověřování zvláštní odborné způsobilosti a udělování oprávnění vybraným pracovníkům a způsob provedení schvalované dokumentace pro povolení k přípravě vybraných pracovníků
- Vyhláška č. 215/1997 Sb., o kritériích na umísťování jaderných zařízení a velmi významných zdrojů ionizujícího záření

[7] Československá komise pro atomovou energii, orgán státního odborného dozoru nad jadernou bezpečností podřízený předsedovi vlády ČSSR

- Vyhláška č. 106/1998 Sb., o zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany jaderných zařízení při jejich uvádění do provozu a při jejich provozu
- Vyhláška č. 195/1999 Sb., o požadavcích na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti.
- Vyhláška č. 324/1999 Sb., kterou se stanoví limity koncentrace a množství jaderného materiálu, na který se nevztahují ustanovení o jaderných škodách
- Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně
- Vyhláška č. 317/2002 Sb., o typovém schvalování obalových souborů pro přepravu, skladování a ukládání jaderných materiálů a radioaktivních látek, o typovém schvalování zdrojů ionizujícího záření a o přepravě jaderných materiálů a určených radioaktivních látek (o typovém schvalování a přepravě)
- Vyhláška č. 318/2002 Sb., o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu (ruší vyhlášku č. 219/1997 Sb.), ve znění vyhlášky č. 2/2004 Sb
- Vyhláška č. 319/2002 Sb., o funkci a organizaci celostátní radiační monitorovací sítě, ve znění vyhlášky č. 27/2006 Sb., kterou se mění vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 319/2002 Sb., o funkci a organizaci celostátní radiační monitorovací sítě. (Vyhláška je v novelizovaném znění účinná od 1. 2. 2006, celý text vyhlášky č. 319/2002 Sb. s vyznačenými změnami a změna příloh vyhlášky)
- Vyhláška č. 419/2002 Sb., o osobních radiačních průkazech
- Vyhláška č. 185/2003 Sb., o vyřazování jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie z provozu
- -Vyhláška č. 193/2005 Sb., o stanovení seznamu teoretických a praktických oblastí, které tvoří obsah vzdělání a přípravy vyžadovaných v České republice pro výkon regulovaných činností náležejících do působnosti Státního úřadu pro jadernou bezpečnost
- Vyhláška č. **309/2005** Sb., o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení
- Vyhláška č. 462/2005 Sb., o distribuci a sběru detektorů k vyhledávání staveb s vyšší úrovní ozáření z přírodních radionuklidů a stanovení podmínek pro poskytnutí dotace ze státního rozpočtu
- Vyhláška č. 132/2008 Sb., o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd
- Vyhláška č. 165/2009 Sb., o stanovení seznamu vybraných položek v jaderné oblasti
- Vyhláška č. 166/2009 Sb., o stanovení seznamu položek dvojího použití v jaderné oblasti
- Vyhláška č. 213/2010 Sb., o evidenci a kontrole jaderných materiálů a oznamování údajů požadovaných předpisy Evropských společenství

Dokumentaci EDU při povolování umístění, stavby a provozu v 70. a 80. letech posuzovaly všechny orgány státního odborného dozoru a státní správy tak, jak to vyplývalo ze zákona č. 50/1976 Sb.

Změny projektu EDU jsou v současnosti posuzovány podle atomového zákona a navazujících vyhlášek vydaných SÚJB a dále podle zákonů a vyhlášek vydaných k uplatnění požadavků orgánů státní správy a odborného dozoru tak jako stavby bez jaderného zařízení.

2 Charakteristika lokality

2.1 Základní údaje o lokalitě (geografie a demografie)

2.1.1 Vymezení předmětu kapitoly

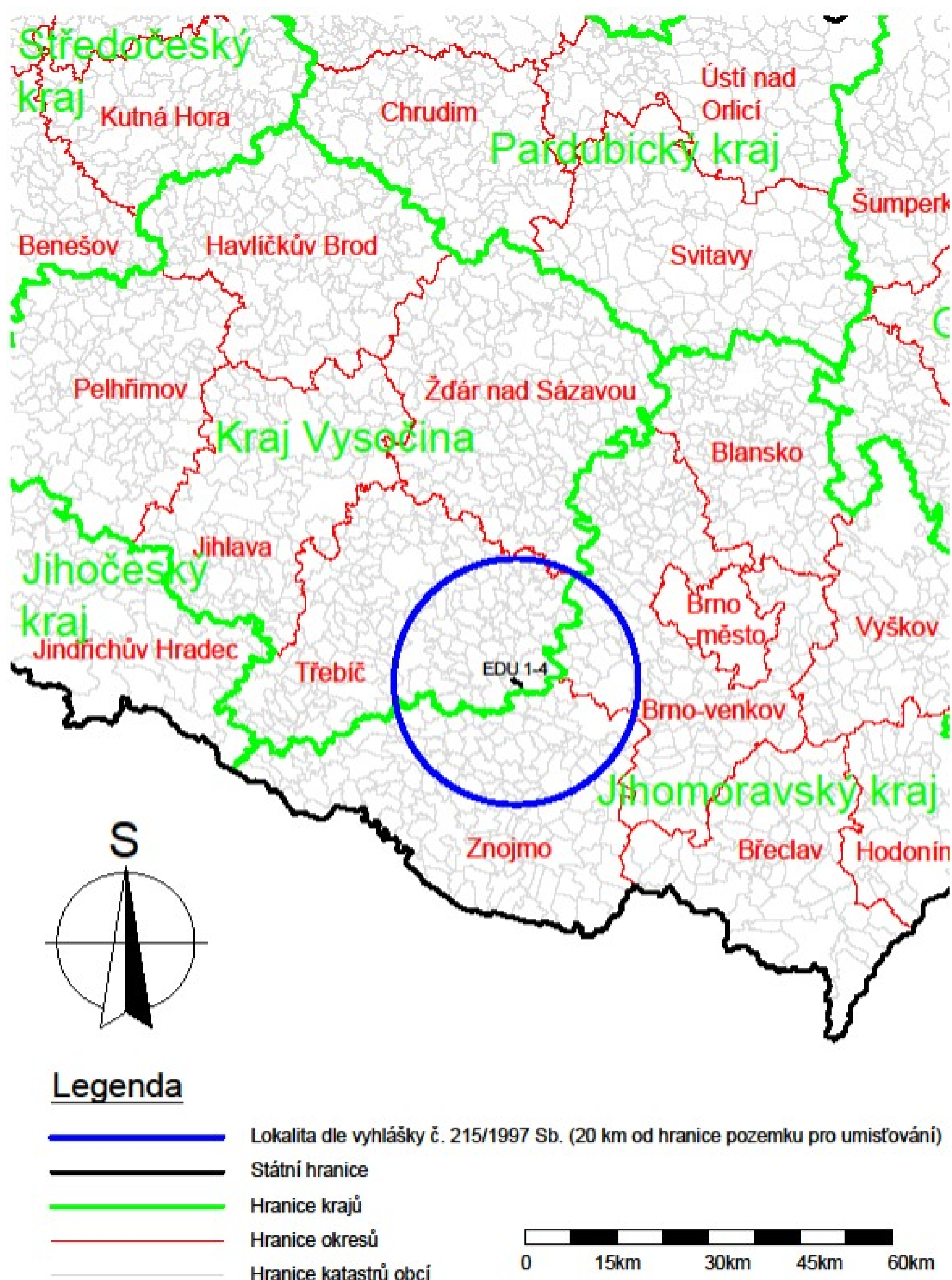
Kapitola 2.1 obsahuje vybrané obecné geografické (z oblasti fyzicko-geografické a socioekonomické) a demografické charakteristiky o lokalitě, které jsou nutné k doložení jejího souladu s bezpečnostními kritérii podle vyhlášky SÚJB č. 215/1997 Sb. o kritériích na umísťování jaderných zařízení a velmi významných zdrojů ionizujícího záření a požadavky standardu IAEA NS-R-3 Site Evaluation for Nuclear Instalation, 2003Error: Reference source not found. Tyto charakteristiky spolu s dalšími charakteristikami uvedenými v kapitole 2 slouží jak k posouzení možného ovlivnění bezpečnosti provozu všech bloků JE Dukovany (EDU1-4), tak k posouzení možného vlivu EDU1-4 na přírodní poměry a osídlení lokality.

2.1.2 Základní vstupní údaje

2.1.2.1 Základní údaje o lokalitě

Lokalitou se podle definice uvedené ve vyhlášce SÚJB č. 215/1997 Sb. o kritériích na umísťování jaderných zařízení, rozumí území do vzdálenosti 20 km od hranice střeženého prostoru (STP) EDU1-4, užší lokalitou se potom podle zmíněné vyhlášky rozumí území do vzdálenosti 3 km od hranice STP EDU1-4.

Lokalita se nachází v jihovýchodní části České republiky na pomezí kraje Vysočina a Jihomoravského kraje a zasahuje území okresů Třebíč, Znojmo, Brno – venkov a Žďár nad Sázavou. Vzhledem k okolním státům se STP EDU1-4 nachází 32 km od hranic s Rakouskem, 75 km od hranic se Slovenskem, 119 km od hranic s Polskem a 173 km od hranic s Německem.



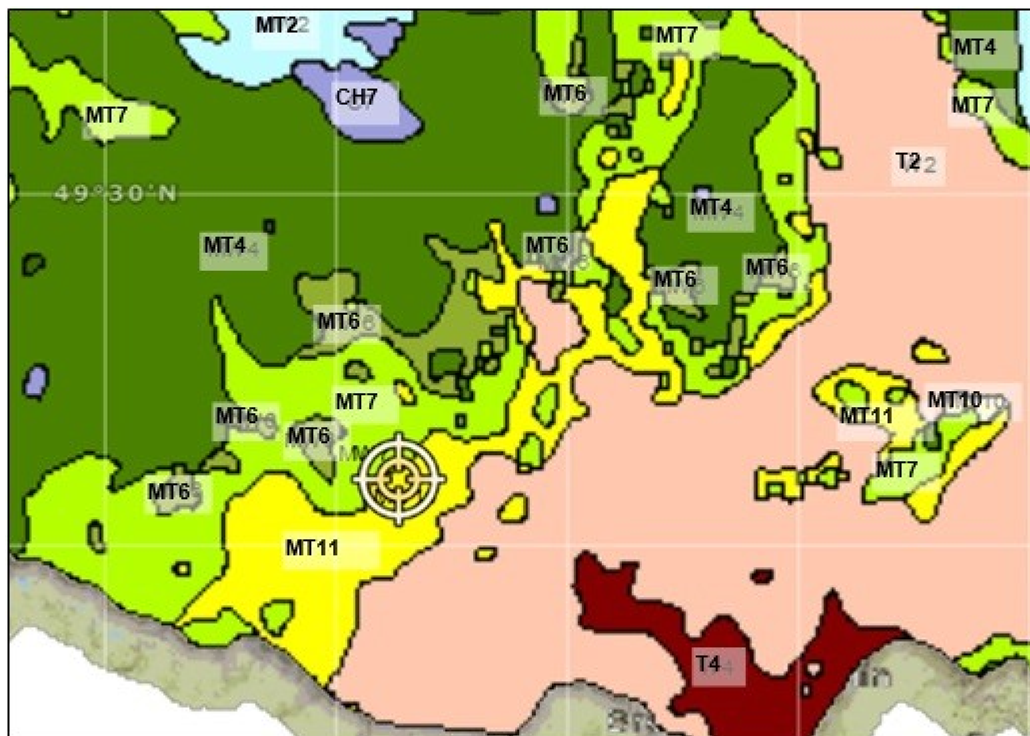
Obr. 10. Umístění EDU1-4 z hlediska správního členění Jihomoravského kraje a kraje Vysočina.

Geografické údaje - Lokalita se rozkládá jihozápadně od města Brna na území Kraje Vysočina a Jihomoravského kraje v okrajovém pásu pahorkatin Hercynika na jihozápadě Moravy. Reliéf má z velké části charakter ploché až členité pahorkatiny s výškovou členitostí 40-150 m.

EDU1-4 se nachází na plochém hřbetu v nadmořské výšce 389 m n. m. Hřbet je součástí Dukovanské elevace o délce cca 21 km a šířce až 6 km.

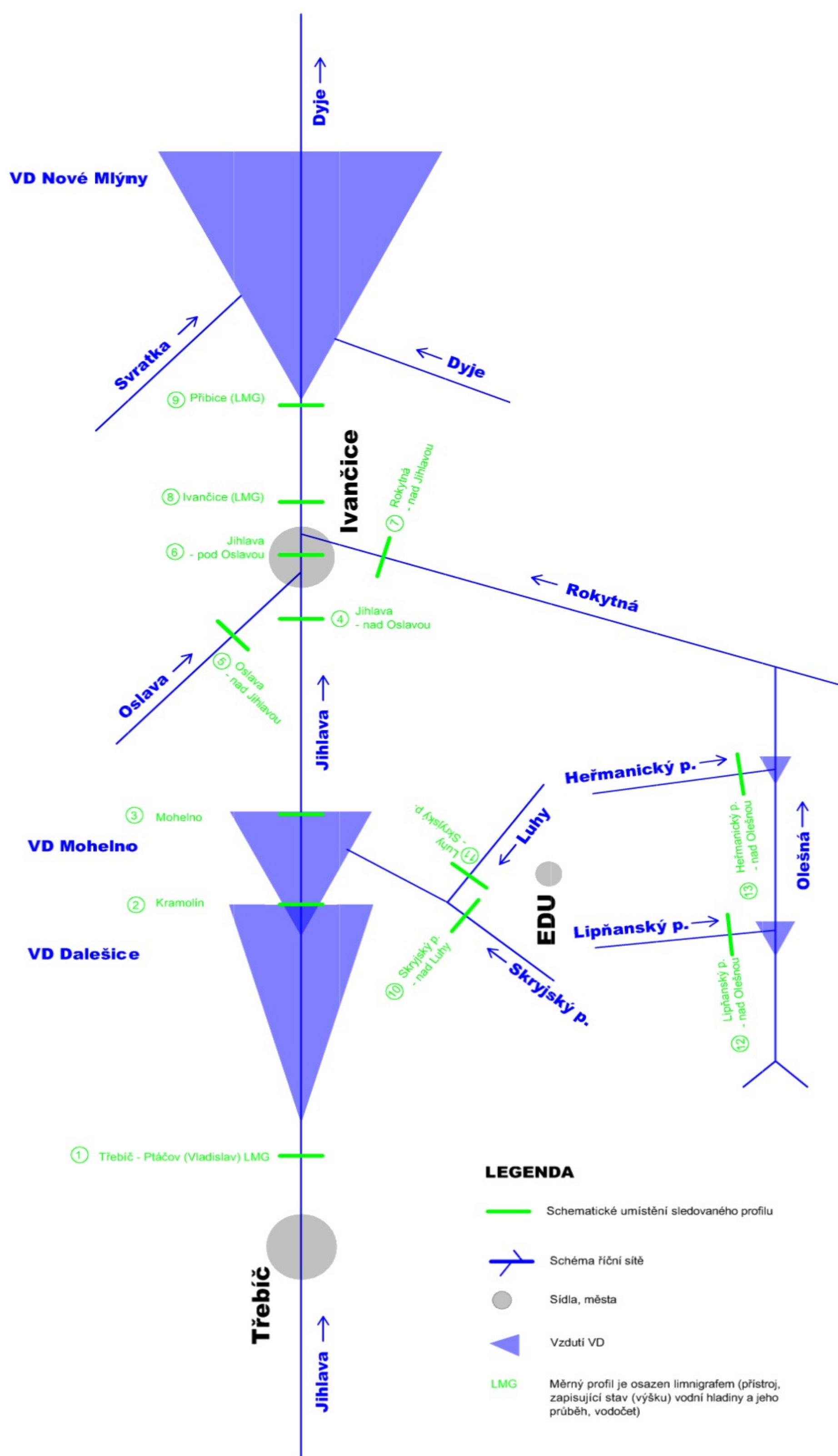
Klimatické poměry - z makroklimatologického hlediska se lokalita nachází v oblasti mírného klimatického pásma severní polokoule. STP EDU1-4 je umístěn v relativně úzkém pruhu rovinatého povrchu Znojemské pahorkatiny, ohraničeném zaříznutými údolími řek Jihlavy a Rokytné. Toto umístění odpovídá příznivým podmínkám pro provětrávání této oblasti.

Lokalita je zařazena do klimatické oblasti MT11, charakterizované následovně: "léto dlouhé, teplé a suché, přechodné období krátké s mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem, zima krátká, teplá a velmi suchá, s krátkým trváním sněhové pokrývky". Na západ a severozápad od EDU leží oblast, která je převážně zařazena do klimatické oblasti MT7, charakterizované následovně: "normálně dlouhé, mírné, mírně suché léto, přechodné období krátké s mírným jarem a mírně teplým podzimem, zima je normálně dlouhá, mírně teplá, suchá až mírně suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky". Z pohledu širšího okolí EDU směrem na jih a východ přechází postupně podnebí do pásu teplých oblastí T2, směrem na sever do oblastí MT4.



Obr. 11. Výřez z mapy klimatických oblastí České republiky (dle Quita)

Hydrografie - z regionálně-hydrologického hlediska spadá lokalita do hlavního povodí České republiky – povodí Dunaje. Dle podrobnějšího správního členění patří území lokality do oblasti povodí Dyje s přítoky řek Jihlavy, Svratky, Jevišovky a dalších drobných toků. Užší lokalita a STP EDU1-4 spadá do povodí řeky Jihlavy, která spolu s levostranným přítokem Rokytná území odvodňuje směrem na JV do Dyjsko-svrateckého úvalu do povodí řeky Dyje, a následně do řeky Moravy, kde pod soutokem s Dyjí voda opouští území ČR.



Obr. 12. Schéma povodí Jihlavy.

Geomorfologie – lokalita je součástí východního okraje Českomoravské vrchoviny, přesněji Znojemské pahorkatiny. Užší lokalita EDU je ve směru SZ-JV rovinatějšího charakteru, směrem severním ohraničena zaříznutým údolím řeky Jihlavy, na jihu pak vzdálenějším údolím

řeky Rokytné. Jihozápadně území pozvolněji klesá k cca 2 km vzdálenému toku Olešné. Okolní nadmořské výšky se pohybují cca na úrovni 370-395 m n. m.

Morfologie STP EDU1-4 byla uměle vytvořena v katastru zrušené obce Skryje v těsném sousedství obcí Dukovany a Rouchovany. Výsledkem rozsáhlých zemních prací při výstavbě EDU1-4 je rozvrstvení celé plochy STP EDU1-4 do několika výškových úrovní, přičemž nejdůležitější objekty jsou umístěny na úrovni nejvyšší (389 m n. m.) a objekty méně důležité postupně na úrovních nižších, nejnižší úroveň je u objektu pojistné nádrže na dešťové kanalizaci (375 m n. m.).

Životní prostředí - v lokalitě se nacházejí zvláště chráněná území, které jsou zařazena do seznamu evropsky významných lokalit (EVL). Jedná se o přírodní rezervace (PR), národní přírodní rezervace (NPR) a přírodní památky (PP). Ptačí oblasti, velkoplošná zvláště chráněná území ani ramsarské oblasti se v lokalitě nevyskytují. V rámci ÚSES se v lokalitě nacházejí nadregionální, regionální biocentra a biokoridory. Nejbližší prvky ÚSES regionálního a nadregionálního významu se vyskytují cca 1,5 km SV směrem a cca 2,5 km SZ směrem od STP EDU1-4.

Lokalita EDU nezasahuje do žádné chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV). V okruhu 20 km od STP EDU se nachází 40 využívaných zdrojů pitné podzemní vody, které mají vymezeny ochranná pásma prvního a druhého stupně. Nejbližší zdroje pitné vody jsou ve vzdálenosti 7,5 km ve směru ZSZ od STP EDU1-4 (Rouchovany) a 6,2 km ve směru SSV od STP EDU1-4 (Kladeruby nad Oslavou). V užší lokalitě se žádné zdroje pitné vody nevyskytují.

Nejbližší chráněné ložiskové území v rámci lokality se nachází 4 km východně od STP EDU1-4. Další chráněné ložiskové území se vyskytují 13 až 14 km severně dále 17 až 18 km severovýchodně a jihozápadně ve vzdálenosti 15 km od STP EDU1-4.

Zalesnění - největší souvislé komplexy lesů se nacházejí severozápadním směrem od STP EDU1-4 ve vzdálenosti 2 km v okolí nádrže Mohelno a Dalešice. Dále východním směrem ve vzdálenosti 12 km v okolí Moravského Krumlova a jihozápadním směrem ve vzdálenosti 14 km v okolí Jaroměřic na Rokytnou. Nejbližší lesní porost v okolí se nachází severně ve vzdálenosti 160 m od STP EDU1-4.

Průmyslová výroba, skladování nebezpečných látek - v bezprostřední blízkosti STP EDU1-4 se nenalézají velká průmyslová zařízení, lomy, doly, sklady toxických a výbušných materiálů ani frekventované transportní cesty. V souladu s doporučením IAEA NS-G-3.1 External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, 2002 Error: Reference source not foundbylo v kapitole 2.2 dále vymezeno pásmo 10 km pro identifikaci zdrojů externích vlivů. Průzkumem bylo zjištěno 9 potenciálních zdrojů událostí ve vzdálenosti do 10 km od hranice STP EDU1-4, které jsou popsány blíže v kapitole 2.2. Uvnitř STP EDU1-4 bylo identifikováno 8 interních zdrojů událostí, které jsou blíže popsány v kapitole 2.3.

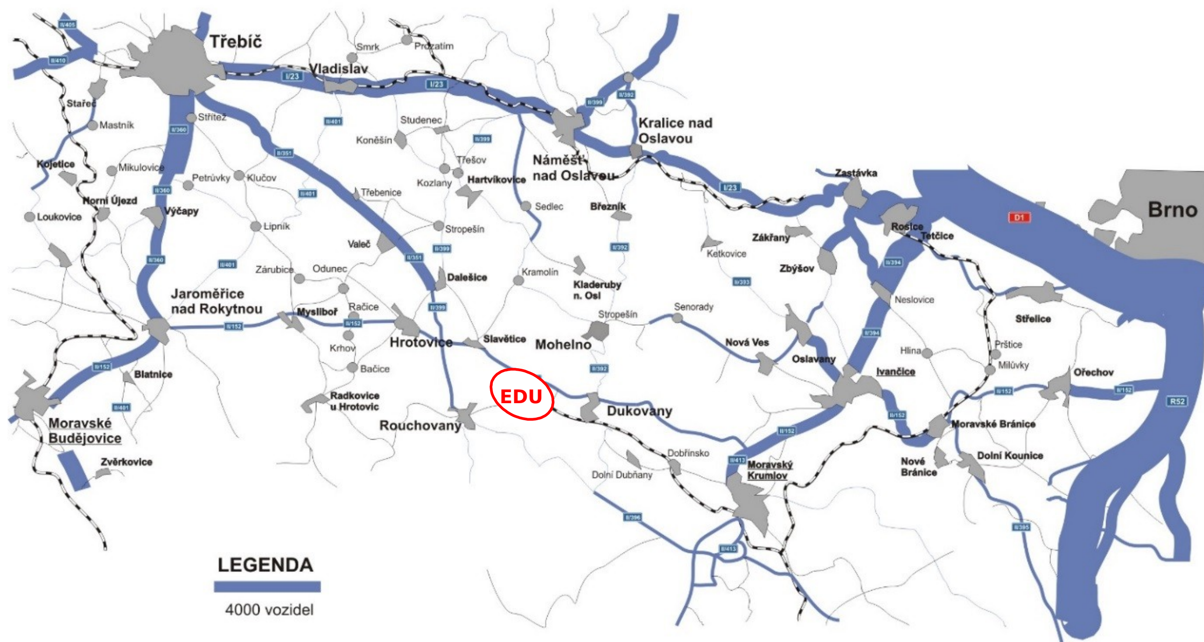
Zemědělství - z celkové plochy lokality je zhruba 61 % půdy využíváno k zemědělským účelům, tedy jako orná půda, vinice, zahrady a ovocné sady nebo jako trvalý travní porost. V okruhu SDV 10 km od EDU1-4 se nachází 9 zemědělských provozů, ve kterých nejsou evidovány nebezpečné látky v množství nebezpečném pro EDU1-4.

Dopravní infrastruktura - v lokalitě EDU a jejím blízkém okolí probíhají tři traťové úseky železničních tratí Českých drah, přičemž do pásma SDV zasahuje pouze jediná železniční trať, a to železniční vlečka Rakšice – JE Dukovany, která vstupuje do STP EDU1-4 od východu. Železniční provoz na vlečce je nepravidelný a velmi řídký a slouží výhradně k přepravě nákladů pro potřeby elektrárny.



Obr. 13. Železniční tratě v okolí STP EDU1-4.

Z analýzy siliční dopravy vyplývá, že v okolí STP EDU1-4 uvnitř pásma vymezeného vzdáleností SDV od elektrárny neleží žádná silnice I. nebo vyšší třídy. Pásmo SDV protíná několik silnic II. třídy, přičemž nejvýznamnější z nich je silnice II/152, která prochází severně podél celé elektrárny ve vzdálenosti do 100 m od plotu STP EDU1-4.



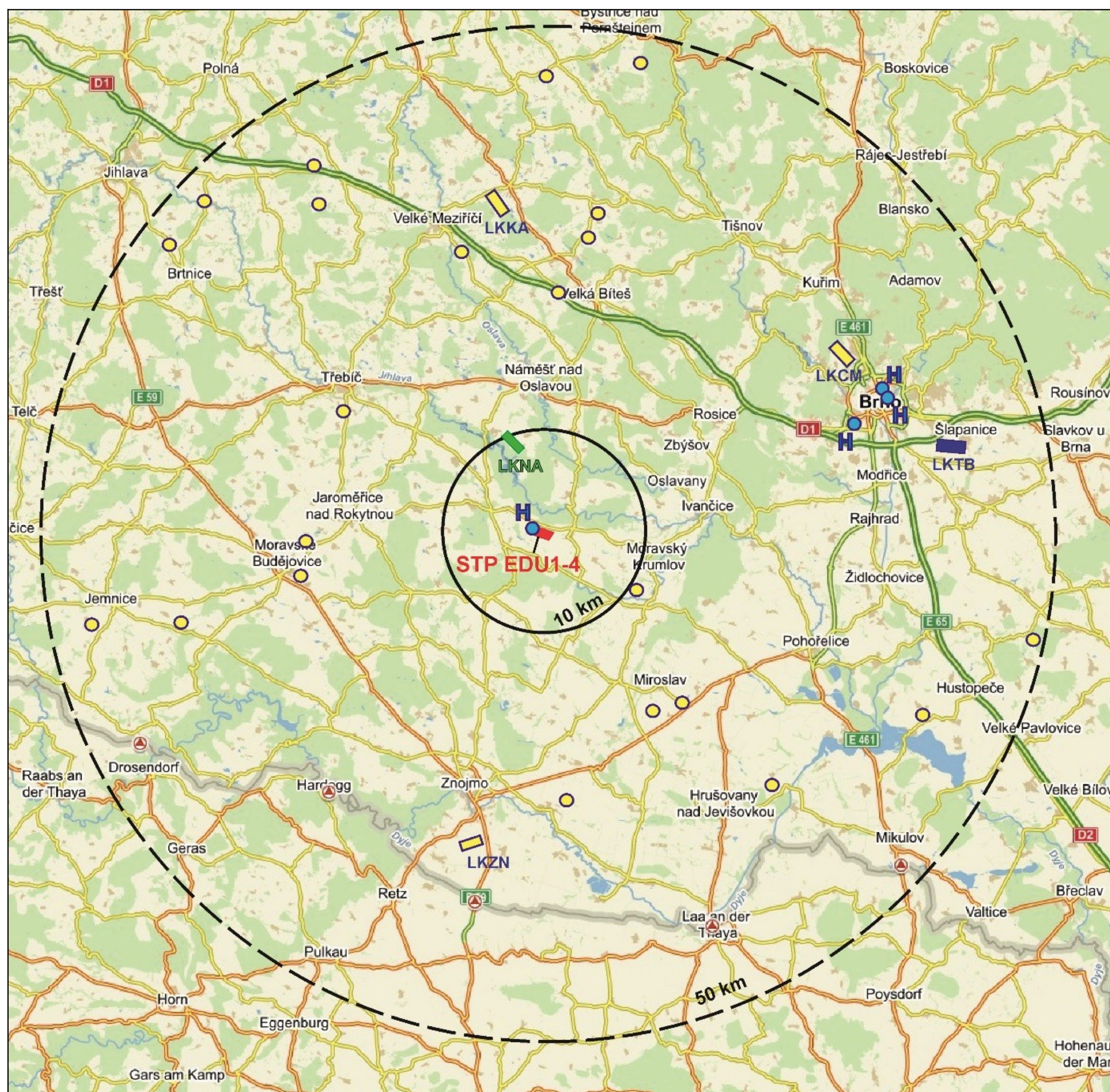
Obr. 14. Kategorizace silnic v okolí STP EDU1-4.

Technická infrastruktura - ve vzdálenosti 9,5 km jižně od STP EDU1-4 se nachází jižní větev tranzitního plynovodu. Jedná se o koridor se 3 vysokotlakými plynovody přepravujícími zemní plyn (rozměry potrubí: DN 800 PN 75, DN 1000 PN 75, DN 1400 PN75). Užší lokalitou

neprochází produktovod pro dopravu ropy a pohonných hmot. Výkon EDU1-4 je vyveden severozápadně přes katastrální území obcí Skryje nad luhy, Dukovany, Slavětice do rozvodny 400kV Slavětice vzdálené přibližně 3 km.

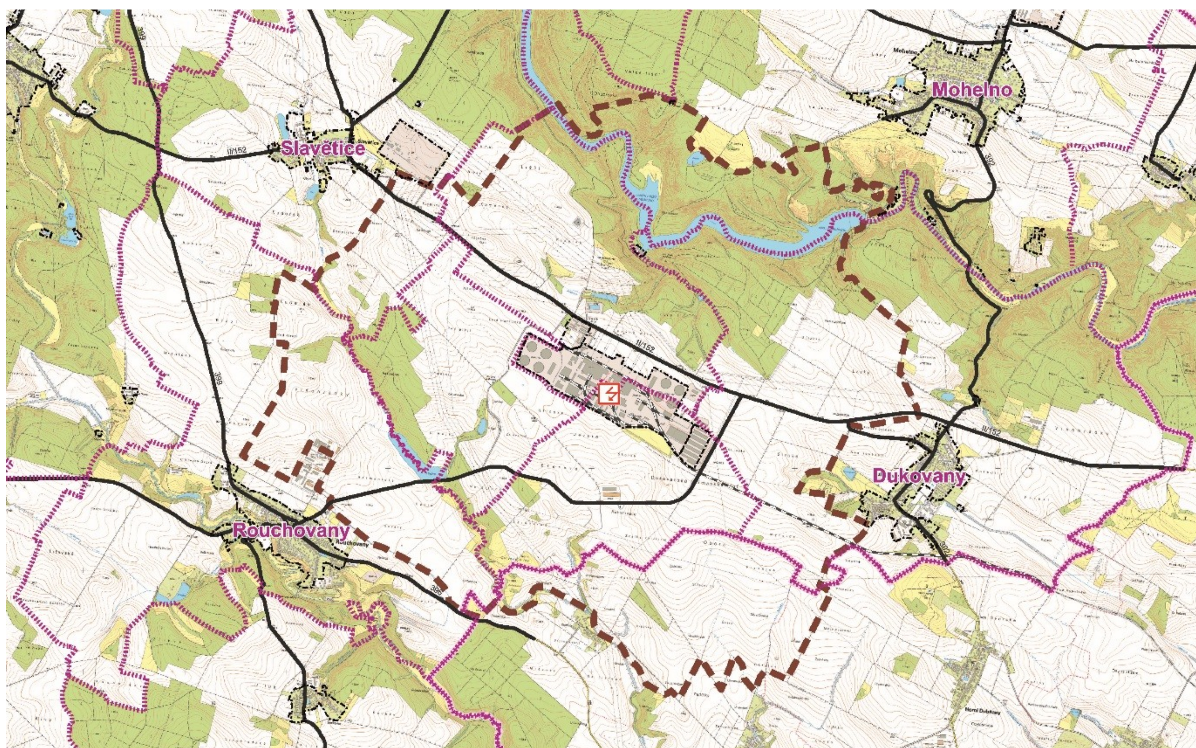
Televizní a rozhlasové vysílače - tato zařízení a jejich ochranná pásma se na STP EDU1-4 nevyskytují.

Ochranné pásma letišť, vzletových a přistávacích prostorů - nejbližší letiště se nachází ve vzdálenosti 9 km od EDU1-4. Jedná se o vojenské letiště Náměšť. Následující nejbližší letiště je Znojmo ve vzdálenosti 30 km od EDU1-4. Ve vzdálenosti do 40 km od EDU1-4 se dále nacházejí letiště Brno – Tuřany, Křižanov, Brno – Medlánky. V okruhu do 40 km od EDU1-4 se nacházejí také plochy pro provoz SLZ Miroslav I, Miroslav II a Třebíč.



Obr. 15. Mapa letišť, ploch SLZ a nouzových přistávacích ploch v blízkosti EDU1-4.

Hygienické ochranné pásmo vymezené pro EDU - tzv. „hygienické ochranné pásmo" pro EDU1-4 bylo stanoveno na základě Vyjádření krajského hygienika ze dne 14. 4. 1971, o poloměru 3 km od středu elektrárny. Jeho hranice byla stanovena po kružnici o poloměru 3 km s výjimkou obce Slavětice, kde hranice probíhá po stávajícím JV okraji zastavěné části obce a s výjimkou osady Kordula, kde hranice probíhá po stávajícím severním okraji zastavěné části osady. Uvnitř tohoto pásma je zakázáno stavět budovy sloužící k obytným účelům, rekreační zařízení a jakékoli průmyslové i jiné provozy a objekty.



Obr. 16. Hygienické ochranné pásmo vymezené pro JE Dukovany.

Základní občanská vybavenost - občanská vybavenost je soustředěna především v městysu Mohelno. Jedná se o zdravotní středisko s ordinací praktického lékaře, dětského lékaře, gynekologickou ordinaci a zubní oddělení, poštu, policie ČR a sbor dobrovolných hasičů. Dále se v současné vnitřní části zóny havarijního plánování (pásmo do 5 km) nacházejí mateřské a základní školy v Dukovanech, Rouchovanech a Mohelnu.

Využití vody v oblasti - V lokalitě se nachází 6 využívaných odběrů povrchové vody a 114 využívaných odběrů podzemní vody, z nichž je 38 určeno pro pitné účely, které mají vymezeny ochranná pásma prvního a druhého stupně.

2.1.2.2 Demografické údaje

Trvalé osídlení - podle výsledků Sčítání lidu, domů a bytů - SLDB 2011 je průměrná hustota osídlení krajů, na jejichž území se lokalita nachází, a oblasti zóny havarijního plánování (ZHP) EDU 161,7 osob/km^2 v Jihomoravském kraji, 74,4 osob/km^2 v kraji Vysočina a 76,7 osob/km^2 v ZHP EDU, což je 58 % celorepublikového průměru. ZHP představuje území v okolí elektrárny (včetně STP EDU1-4) vymezené Rozhodnutím SÚJB, ve kterém nelze vyloučit v případě radiační havárie v EDU potřebu zavedení neodkladných ochranných opatření. Počet obyvatel v Jihomoravském kraji i kraji Vysočina za posledních 53 let mírně roste, přičemž se zvyšuje podíl starších obyvatel na celkovém počtu obyvatel. V bližším 5 km pásmu ZHP žije 4266 obyvatel. Největší část obyvatel v této části ZHP žije v obci Mohelno a to 31,7% z celkového počtu obyvatel. Celkový počet obyvatel spadající do pásma mezi 5km a 10km ZHP je 9144 obyvatel a do části mezi 10km a 20km ZHP je 84 409 obyvatel. V celé ZHP tedy žije 97 819 obyvatel.

Přechodné osídlení - v rámci přechodného osídlení byl proveden odhad navýšení počtu obyvatelstva v ZHP EDU o počet rekreantů přijíždějící z vně ZHP. Odhad byl proveden na základě údajů ohledně objektů sloužící pro individuální rekreaci (chaty, chalupy, atd.), kapacit ubytovacích zařízení (hotely, penzióny, atd.) a míst pro stany a karavany. Počet objektů sloužící pro individuální rekreaci je převzat ze SLDB 2011, kapacity ubytovacích zařízení včetně míst pro karavany a stany jsou za rok 2013. Za předpokladu, že v hlavním rekreačním období (červenec-srpen) budeme předpokládat vytíženost ubytovacích zařízení a míst pro stany/karavany 70-80%, 1/2 objektů individuální rekreace bude naplněna obyvateli z vně ZHP EDU a na jeden objekt individuální rekreace a místo určené pro stan/karavan bude počítáno se 4 lidmi, lze předpokládat navýšení v ZHP EDU o 12 200 osob.

2.1.2.3 Očekávaný rozvoj oblasti

Rozvoj oblasti podle územního plánování v dané oblasti vychází ze záměrů, které jsou specifikovány v Politice územního rozvoje České republiky. V době zpracování této zprávy je ve schvalovacím řízení Politika územního rozvoje České republiky ve znění Aktualizace č. 1, která zahrnuje i existenci EDU včetně všech rozvojových plánů souvisejících s dalším rozvojem lokality EDU. Rozpracování záměrů v předmětné oblasti pak vychází z Aktualizace č. 1 Zásad územního rozvoje Kraje Vysočina schválené zastupitelstvem Kraje Vysočina dne 18. 9. 2012. V návaznosti na předpoklady dané Aktualizace č. 1 ZÚR KrV lze předpovědět následující trend v možnostech průmyslového růstu:

- pokud bude realizováno rozšíření Jaderné elektrárny Dukovany nárůst průmyslu během samotné výstavby z důvodu dodavatelských aktivit spojených s činnostmi bezprostředně navazujících na výstavbu a následný částečný pokles průmyslového růstu po ukončení výstavby k očekávanému dokončení některých souvisejících činností,
- do doby než bude realizováno rozšíření Jaderné elektrárny Dukovany, bude budoucí průmyslový růst v této oblasti pozvolný a bude určován spíše regionálními zájmy a investicemi.

Z hlediska demografického vývoje se v rámci projekce obyvatelstva v regionu Jihovýchod předpokládá s mírným nárůstem porodnosti a poklesem intenzity úmrtnosti. I přes očekávané obecné mírné zvyšování úrovně porodnosti bude nadále pokračovat klesající trend počtu živě narozených. Počet zemřelých bude mít v nejbližších letech klesající tendenci, ale z dlouhodobého pohledu se navzdory očekávané rostoucí prognóze průměrného dožití, bude počet zemřelých zvyšovat a projeví se tak důsledky populačního stárnutí obyvatel. U regionu Jihovýchod se očekává do roku 2050 pokles počtu obyvatel o 6%, tzn. z 1.68 mil na 1.57 mil. obyvatel. Z demografického vývoje vyplývá, že změna počtu a složení obyvatel není pro provozování EDU1-4 omezujícím faktorem a demografický vývoj rovněž nepřináší podněty pro zásadní změny v havarijním plánování.

2.1.3 Výsledky předběžného hodnocení

Z provedených průzkumů lokality a jejich analýz vyplývá:

- STP EDU1-4 nezasahuje do ochranných pásem dálnic a železnic a další infrastruktury uvedené ve vyhlášce SÚJB č. 215/1997 Sb. o kritériích na umísťování jaderných zařízení. Poloha STP EDU1-4 je v souladu s vylučujícími a podmíněně vylučujícími kritérii, která se vztahují k ochranným pásmům jiných zařízení.
- Pro lokalitu jsou k dispozici demografická data, charakteristiky území a využití vody v okolí STP EDU1-4 pro analýzy vlivu elektrárny na obyvatelstvo a životní prostředí podle požadavků standardu IAEA NS-R-3 Site Evaluation for Nuclear Instalation, 2003Error: Reference source not found.

Z posouzení kritérií vyhlášky SÚJB č. 215/1997 Sb., a požadavků standardu IAEA NS-R-3 zařazených do kapitoly 2.1 nevyplynula žádná opatření do projektových východisek elektrárny[8].

2.2 Blízké průmyslové, dopravní a vojenské objekty

2.2.1 Vymezení předmětu kapitoly

Předmětem kapitoly 2.2 je prezentace výsledků hodnocení lokality z hlediska průmyslové výroby, dopravy a skladování nebezpečných látek, které by mohly za nepříznivých okolností představovat nebezpečí pro jadernou bezpečnost EDU1-4. Jedná se o průmyslové, dopravní a vojenské objekty, produktovody, provoz letadel, zdroje elektromagnetického záření (elektromagnetické rušení) a lesní požáry v okolí. V požadavcích standardu IAEA NS-R-3Error: Reference source not foundSite Evaluation for Nuclear Instalation, Safety Requirements, 2003, uplatňovaných na umísťování jaderných zařízení se jedná o problematiku vymezenou jako „vnější vlivy způsobené člověkem“. Ve vyhlášce SÚJB č. 195/1999 Sb o požadavcích na

[8] Objekty dopravní a technické infrastruktury identifikované v kapitole 2.1 (např. silnice a tranzitní plynovod) byly dále analyzovány jako zdroje vnějších vlivů; závěry z této analýzy jsou uvedeny v kapitole 2.2 a odpovídající projektová východiska v kapitole 2.10.

jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenostiError: Reference source not found se hovoří o „jevech vyvolaných lidskou činností“ a v bezpečnostním návodu SÚJB BN-JB-1.7 o událostech způsobených lidskou činností. Dále se v textu kapitoly 2.2 budou tyto jevy nazývat „vnějšími nebo externími vlivy“.

Pro označení zdrojů událostí a zdrojů rizik vně STP EDU1-4, se používá termín **externí** nebo **vnější zdroje** a jsou popsány v kapitole 2.2. Pro označení objektů a tras, zdrojů událostí a rizik uvnitř STP EDU1-4 se používá termín **interní** nebo **vnitřní zdroje** a jsou popsány v kapitole 2.3. Zdroje událostí jsou dále rozlišeny na stacionární (vázané na nepohyblivý objekt), mobilní (spojené s pohybujícím se objektem), potrubní (vázané na potrubní trasy produktovodů) a vodní (spojené s objekty na vodní nádrži Mohelno). V návaznosti na uvedené rozdělení zdrojů událostí jsou jim v dalším textu přiřazena identifikační čísla s prefixem:

ES – externí stacionární IS – interní stacionární

EM – externí mobilní IM – interní mobilní

EP – externí potrubní

EV – externí vodní

Zdroje událostí mají povahu objektů a tras, ve kterých dochází k činnostem s nebezpečnými látkami nebo energiemi. Činnosti s nebezpečnými látkami (energiemi) se označují jako zdroje rizika. Termín zdroj rizika se používá jako ekvivalent anglického hazard.

V souladu s doporučením IAEA NS-G-3.1 External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants (2002) jsou uvažovány jen ty události způsobené člověkem, které jsou náhodného původu, nikoliv úmyslné činy. O účincích se rozhoduje podle pravděpodobnostních a deterministických kritérií. Podle výsledků analýz jsou nakonec určena východiska návrhu (návrhové události a návrhové parametry)..

2.2.2 Základní vstupní údaje pro hodnocení

2.2.2.1 Průmyslové a vojenské objekty a lesní porosty

Zdroje událostí odpovídajících předmětu této kapitoly vychází především z informací od orgánů státní správy, správců komunikací a železnice, provozovatele tranzitního plynovodu, které byly doplněny vyhledáním v úvahu přicházejících zdrojů v terénu a dotazováním u jejich vlastníků a v závěru verifikací úplnosti výsledků doplňujícího průzkumu osobami znalými místopisu lokality. Doplňující průzkum jednotlivých typů zdrojů vnějších vlivů, byl proveden do vzdálenosti odpovídající 10 km od EDU. Vzdálenost 10 km odpovídá tzv. pásmu SDV – screening distance value dle návodů IAEA.

Pro pásmo vymezené SDV odpovídající požárům a výbuchům byl proveden průzkum zemědělských, průmyslových výroben a skladů. V takto vymezeném okolí EDU1-4 je provozováno několik zemědělských podniků, které disponují sklady na agrochemikálie. Z hlediska přepravy rizikových látek jsou nejvýznamnější trasy zásobování čerpacích stanic pohonných hmot. V SDV se dále nachází vodojem Dukovany a vodní elektrárna a rozvodna Dalešice.

Severozápadně od EDU1-4 se nachází rozvodna Slavětice patřící společnosti ČEPS, do oblasti SDV spadá také kamenolom Hrubšice u Ivančic. Dle vyjádření výrobního družstva Kamena Brno, kterému kamenolom patří, se v něm nenachází žádné trhaviny a lom tedy není nutné mezi externí zdroje událostí uvažovat. Ve vzdálenosti větší než SDV se nacházejí lomy Královec, Vícenice, Příbram na Moravě a Dolní Kounice.

Ve vymezeném pásmu se nachází několik čerpacích stanic pohonných hmot: BENALE s.r.o. v Dukovanech, EuroOil a AMT v Hrotovicích, EuroOil v Mohelnu, ČS Radek Lehký ve Vémyslicích a Gulf ve Valeči. S ohledem na velikost nádrží a vzdálenost uvedených čerpacích stanic od elektrárny má nejvýznamnější vliv na objekty EDU1-4 nebližší z nich – stanice BENALE s.r.o. v Dukovanech. Ostatní čerpací stanice proto jsou oceněny pomocí této nejbližší stanice.

Ve vzdálenosti 8,5 km od EDU1-4 se nachází vojenské letiště Náměšť nad Oslavou - VÚ Sedlec.

Průmysl většího významu je lokalizován až ve větších vzdálenostech.

Seznam všech externích stacionárních zdrojů rizika, jejichž předběžné ocenění si vyžádalo i podrobnější analýzu účinků interakce s elektrárnou, je uveden v tabulce na konci této kapitoly.

2.2.2.2 Železniční přeprava

V okolí EDU1-4 jsou tři traťové úseky železničních tratí Českých drah, tratí č. 240, 241 a 244. Do pásma SDV zasahuje pouze jediná železniční trať, a to železniční vlečka Rakšice – EDU1-4, která vstupuje do STP EDU1-4 od východu a slouží výhradně k přepravě nákladů pro potřeby elektrárny.

Z veřejné trati č. 244 odbočuje ve stanici Rakšice železniční vlečka do STP EDU1-4. Po vlečce do STP EDU1-4 je dovolena přeprava nebezpečných nákladů. Jako umístění zdroje se uvádí nejmenší vzdálenost trasy k STP EDU1-4. Toto pojetí je v souladu s tím, že analýza je zaměřena na vnější události a usiluje o konzervativnost.

Seznam všech externích zdrojů rizika z železniční dopravy, jejichž předběžné ocenění si vyžádalo i podrobnější analýzu účinků interakce s elektrárnou, je uveden v tabulce na konci této kapitoly.

2.2.2.3 Silniční přeprava

Z analýzy siliční dopravy vyplývá, že v okolí EDU1-4 uvnitř pásma vymezeného vzdáleností SDV od elektrárny neleží žádná silnice I. nebo vyšší třídy. V pásmu SDV není proto potřebné předpokládat silniční dálkovou přepravu nebezpečných nákladů.

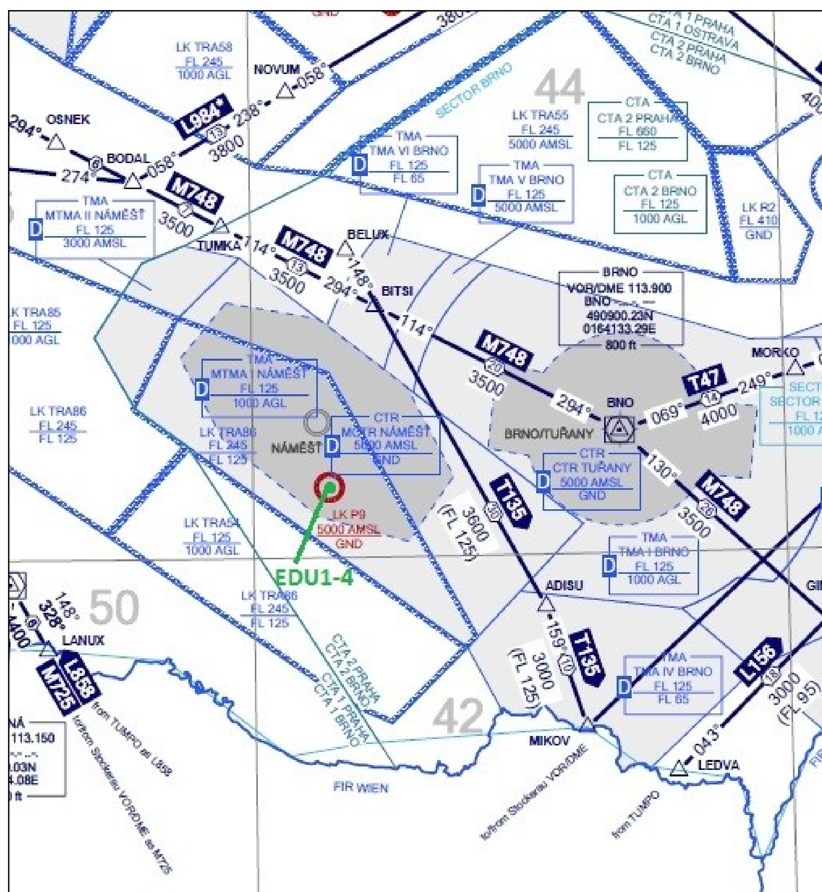
Pásmo SDV protíná několik silnic II. třídy (II/152, II/392, II/396 a II/399), z nichž daleko nejvýznamnější je silnice II/152, která prochází severně podél celé elektrárny ve vzdálenosti do 100 m od STP EDU1-4. V rámci analýzy bylo předpokládáno, že veškeré přepravy nebezpečných látek, které mohou probíhat po silnicích v blízkosti EDU1-4 (tj. uvnitř pásma SDV), se uskutečňují právě po silnici II/152. Vzhledem k tomu, že je to silnice, která prochází nejblíže objektů EDU1-4 důležitých pro jadernou bezpečnost, je uvedený předpoklad z hlediska analýzy zjevně velice konzervativní.

Seznam všech externích zdrojů rizika ze silniční dopravy, jejichž předběžné ocenění si vyžádalo i podrobnější analýzu účinků interakce s elektrárnou, je v tabulce na konci této kapitoly.

2.2.2.4 Letecký provoz

Kolem EDU1-4 je vyhlášen zakázaný prostor LK P9, který má tvar válce o poloměru 2 km, se středem v poloze (mezi dvěma HVB EDU1-4): 49 05 08,82 N 016 08 44,83 E. Prostor sahá od země do výšky cca 1500 m nad mořem, v němž je zakázán veškerý letecký provoz (s výjimkou letů pro záchranu života, letů policie a armády).

Z hlediska bezpečnosti jaderné elektrárny Dukovany je významná skutečnost, že zakázaný prostor elektrárny LK P9 leží uvnitř řízeného letového prostoru (MCTR) Letiště Náměšť, který zahrnuje rozsáhlou oblast v okolí letiště a sahá až k úrovni terénu. Pro hodnocení vlivu letového provozu na elektrárnu má největší význam právě provoz na tomto letišti. V okruhu do 50 km okolo EDU1-4 se nacházejí dále letiště: Brno – Tuřany, Křižanov, Znojmo a Brno – Medlánky. Dále se v tomto pásmu vyskytují plochy pro provoz SLZ: Miroslav I, Miroslav II a Třebíč, a heliporty: Brno – Bohunice, Brno – Černopolní, Brno – Příkop, JE Dukovany.



Obr. 17. Znázornění LK P9 a MCTR na mapě letových cest ve spodním vzdušném prostoru.

2.2.2.5 Tranzitní plynovod

Pásmo SDV protíná ve vzdálenosti cca 9,5 km jižně od STP EDU1-4 jižní větev tranzitního plynovodu. Tato větev vede plyn od rozdělovacího uzlu v Malešovicích až do hraniční předávací stanice Waidhaus, přičemž do pásma SDV zasahuje jen částečně, severně od obce Višňové. Jedná se o koridor se 3 vysokotlakými plynovody přepravujícími zemní plyn ruského původu.

Pro zachování konzervativního přístupu se dále uvažovalo s přítomností středotlakých potrubí zemního plynu o max. průměru DN 160 dosahujících z vnějšku až na hranice pásma SDV, a dále vysokotlakých potrubních přivaděčů o max. průměru DN 100 na lokalitách Mohelno, Hrotovice, Dalešice a Slavětice. Do STP EDU1-4 nejsou zavedeny žádné přípojky plynu.

2.2.2.6 Elektromagnetická interference

Zdroje elektromagnetického rušení lze rozdělit na zdroje přírodní a umělé. Tyto zdroje se podílejí různou měrou na výsledném elektromagnetickém prostředí ve sledované lokalitě.

Pro stanovení parametrů prostředí v STP EDU1-4 bylo v 03/2015 provedeno nové měření. Pro měření byla zvolena síť 35 měřicích bodů, ve kterých byl proveden monitoring elektromagnetického pole. Monitoring elektromagnetického pole obsáhnul frekvenční pásma 50 Hz až 10 kHz a 10 kHz až 7 GHz. Toto měření postihuje úroveň rušivého vlivu, který generují silová vedení, rozhlasové a televizní vysílače, vykrývací vysílače mobilních operátorů a Wi-Fi zařízení. Výsledky měření ukazují, že intenzita vnějších elektromagnetických polí dosahuje nízkých hodnot a pro instalovaná elektronická zařízení nepředstavuje významný vnější zdroj elektromagnetického rušení.

2.2.2.7 Vodní cesty

Z rozboru místních podmínek vyplývá, že předměty a látky dopravené k vtokovému objektu by mohly mít následující povahu a původ:

a) vývraty a části stromů z lesních porostů na březích nádrže, případně též čluny, lávky a podobné předměty odplavené z břehů nádrže,

b) skvrny látek pocházejících z výrobních objektů na březích nádrže,

c) skvrny látek uniklých v důsledku nehody vozidla do nádrže z komunikace vedoucí po hrázi nebo po břehu nádrže, skvrny látek uniklých v důsledku pádu letadla do nádrže,

d) předměty nebo skvrny látek pronikající do nádrže přes hráz Dalešice z vodní nádrže Dalešice.

2.2.3 Výsledky hodnocení

Na základě hodnocení vnějších vlivů podle kritérií uvedených ve vyhlášce SÚJB č. 215/1997 Sb. Error: Reference source not foundo kritériích na umísťování jaderných zařízení a standardu IAEA NS-R-3 Site Evaluation for Nuclear Instalation, Safety Requirements (2003)Error: Reference source not found, je umístění EDU1-4 v souladu se stanovenými kritérii a požadavky.

Při analýze externích událostí byly identifikovány návrhové události, které mohou mít potencionálně významný vliv na EDU1-4 a nelze je zanedbat ani z důvodu nízké četnosti jejich výskytu. K ochraně před všemi událostmi a jejich účinky na EDU1-4 však byly provedeny v projektovém řešení opatření, která zajišťují ochranu konstrukcí, systémů a zařízení důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a ochranu provozního personálu.

Projektové řešení EDU1-4 zajišťují ochranu před dále uvedenými návrhovými událostmi, které byly identifikovány jako potencionálně významné:

a) Nátěrové hmoty produkující při požáru HCN skladované v areálu Heřmanice, který se nachází v bezprostředním sousedství STP EDU1-4 , kdy při požáru dojde k šíření toxického oblaku, který by v případě nepříznivých meteorologických podmínek mohl dosáhnout sání vzduchotechnických systémů bezpečnostně významných objektů EDU1-4.

b) Pro vyloučení negativních účinků výše popsané události jsou součástí projektových východisek projektu EDU1-4 opatření k zabránění nasátí toxického oblaku do vzduchotechniky obsluhovaných prostorů (dozorny).

c) Zatížení pádem letadla je uvažováno v projektu jaderného zařízení jako návrhová událost pro systémy, konstrukce a komponenty důležité z hlediska jaderné bezpečnosti.

d) Konstrukční opatření na sání vzduchotechniky určené pro systémy důležité z hlediska jaderné bezpečnosti eliminuje možnost zablokování těchto vstupů sněhem. V EDU1-4 je tento požadavek zajištěn existujícím projektovým řešením, tedy prostorovým oddělením těch vzduchotechnických systémů, které jsou klasifikované jako bezpečnostní systémy, a uplatněním principu diverzity (odlišného technologického řešení redundantních divizí), vstupy jsou navíc vertikální a orientované do různých směrů.

e) Projekt EDU1-4 je řešen podle norem a zásad elektromagnetické kompatibility (EMC koncept). V projektu je definováno elektromagnetické prostředí, ve kterém systémy a zařízení pracují. Systémy jsou navrženy tak, aby mohly v daném prostředí pracovat bez zhoršení provozuschopnosti vlivem EMI. Dále musí systémy a zařízení splňovat limity na úroveň emitovaného rušení do elektromagnetického prostředí. Rozhraní (vazební cesty) mezi systémy a elektromagnetickým prostředím musí být v případě potřeby vhodně ošetřeny (ochrany, omezovače rušení atd.). Podrobněji jsou zásady a normy EMC uvedeny v kapitole 3.11 této zprávy) Rozhraní mezi bloky a sítí a mezi bloky vzájemně jsou řešena podle zásad EMC.

f) Pro vyloučení negativních účinků událostí uvedených v položce c) je součástí projektových východisek EDU1-4 požadavek na odolnost systémů konstrukcí a komponent důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a zachování jejich bezpečnostních funkcí i po zatížení nárazem předmětu odpovídajícího letadlu se zadanou specifikací. Na základě analýzy bylo jako referenční vybráno letadlo typu Cessna 210, což je malé sportovní letadlo kategorie CIV o hmotnosti 2000 kg s uvažovanou rychlostí při dopadu 100 m.s-1.

Tab. 9. Shrnutí výsledků analýzy externích zdrojů rizika, u kterých bylo nutné podrobné ocenění.

zdroj rizika	umístění	účinek interakce	četnost interakce
lesní porost v blízkosti EDU1-4	160 m severně od STP EDU1-4	lze zanedbat	---
hořlavé nátěrové hmoty v areálu Heřmanice	45 m severně od jihových. části STP EDU1-4	lze zanedbat	---
nátěrové hmoty produkující při požáru HCl v areálu Heřmanice	45 m severně od jihových. části STP EDU1-4	lze zanedbat	---
nátěrové hmoty produkující při požáru fosgen v areálu Heřmanice	45 m severně od jihových. části EDU1-4	lze zanedbat	---
nátěrové hmoty produkující při požáru HCN v areálu Heřmanice	45 m severně od jihových. části STP EDU1-4	nelze zanedbat	nelze zanedbat
kapalné hořlaviny v areálu Heřmanice	90 m severovýchodně od jv části STP EDU1-4	lze zanedbat	---
acetylén v lahvích ve skladu technických plynů	20 m severovýchodně od jv části STP EDU1-4	lze zanedbat	---
vodík v lahvích ve skladu technických plynů	20 m severovýchodně od jv části STP EDU1-4	lze zanedbat	---
propan v lahvích ve skladu technických plynů	20 m severovýchodně od jv části STP EDU1-4	lze zanedbat	---
pohonné hmoty na železniční vlečce	u jihovýchodního cípu STP EDU1-4	lze zanedbat	---
čpavková voda na železniční vlečce	u jihovýchodního cípu STP EDU1-4	nelze zanedbat	lze zanedbat
kyselina sírová na železniční vlečce	u jihovýchodního cípu STP EDU1-4	lze zanedbat	---
kyselina dusičná na železniční vlečce	u jihovýchodního cípu STP EDU1-4	lze zanedbat	---
pohonné hmoty na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	nelze zanedbat	lze zanedbat
LPG v cisterně na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	nelze zanedbat	lze zanedbat
LPG v drobných obalech na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	lze zanedbat	---
vodík v bateriovém voze na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	nelze zanedbat	lze zanedbat
acetylén v lahvích na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	nelze zanedbat	lze zanedbat
acetylénová svářecí souprava na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	lze zanedbat	---
kapalný amoniak na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	lze zanedbat	---
kyselina sírová na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	lze zanedbat	---
kapalný chlór na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	nelze zanedbat	lze zanedbat
dusičnan amonný na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	lze zanedbat	---
prostředek na ochranu rostlin produkující při požáru SO_2 na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	lze zanedbat	---
prostředek na ochranu rostlin produkující při požáru HCl na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	nelze zanedbat	lze zanedbat
prostředek na ochranu rostlin produkující při požáru MIC na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	lze zanedbat	---
zboží z PVC na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	lze zanedbat	---
hydrazin hydrát na silnici II/152	90 m severně od STP EDU1-4	nelze zanedbat	lze zanedbat
skvrna kapalných ropných látek (olejů, paliv) v nádrži Mohelno		lze zanedbat	---
skvrna kyseliny sírové v nádrži Mohelno		lze zanedbat	---
skvrna rozpuštěných prostředků na ochranu rostlin v nádrži Mohelno		lze zanedbat	---

2.3 Rizikové činnosti v STP EDU1-4

2.3.1 Vymezení předmětu kapitoly

Kapitola 2.3 navazuje na kapitolu 2.2, která prezentuje výsledky analýzy vnějších vlivů způsobených činností člověka na EDU1-4 a doplňuje ji výsledky analýzy událostí a rizik vyvolaných zdroji umístěnými v STP EDU1-4 (interní zdroje).

2.3.2 Základní vstupní údaje pro hodnocení

Na základě projektového řešení EDU1-4 a seznamu nebezpečných látek v provozu EDU1-4 byly v STP EDU1-4 identifikovány stacionární zdroje událostí a s nimi spojené nebezpečné látky. Mezi objekty představující potenciální zdroje ohrožení v STP EDU1-4 patří objekty palivového hospodářství DGS, úpravny chladící vody, sklad olejů a hořlavin, sklad technických plynů v lahvích, tlaková stanice vodíku, Hlavní zdroj hospodářství kyslíku a dusíku a čerpací stanice pohonných hmot.

Z vnitřního dopravního systému EDU1-4 – vleček, silnic, a nebezpečných látek dopravovaných po vnitřních komunikacích vyplynulo devět potenciálně nebezpečných mobilních zdrojů událostí.

Seznam všech interních zdrojů rizika, jejichž předběžné ocenění si vyžádalo i podrobnější analýzu účinků interakce s elektrárnou, je uveden v tabulce na konci této kapitoly.

2.3.3 Výsledky hodnocení

Na základě hodnocení vnitřních rizikových vlivů spočívajících v provozu EDU1-4 podle kritérií uvedených ve vyhlášce SÚJB č. 215/1997 Sb. o kritériích na umísťování jaderných zařízení a standardu IAEA NS-R-3 Site Evaluation for Nuclear Instalation, Safety Requirements (2003) je umístění EDU1-4 v souladu s těmito kritérii a požadavky.

Při analýze nehod, ke kterým může dojít v STP EDU1-4 byly identifikovány návrhové události odpovídající šíření oxidujícího oblaku při okamžitém úniku v místě skladování a šíření oblaku toxického plynu při destrukci a rozlití kontejneru s hydrazinem při silniční přepravě této látky od vrátnice k objektu úpravny chladicí vody, které mohou mít vliv na EDU1-4 a nelze je zanedbat z důvodu nízké četnosti jejich výskytu. K ochraně před všemi událostmi a jejich účinky na EDU1-4 však byla v projektovém řešení provedena opatření, která zajišťují ochranu konstrukcí, systémů a zařízení důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a ochranu provozního personálu. K ochraně proti návrhovým událostem vyplývajícím z vnitřních vlivů jsou obecně postačující ta opatření v projektu přijatá k ochraně před vnějšími vlivy. Jedná se o ochranu před šířením toxických oblaků (včetně spalin hoření). Dozorny a další obsluhované prostory potřebné k zajištění jaderné bezpečnosti vybaveny technickým zařízením a nacvičenými postupy předcházejícími pronikání toxických látek.

Tab. 10. Shrnutí výsledků analýzy interních zdrojů rizika, u kterých bylo nutné podrobné ocenění.

zdroj rizika	umístění	účinek interakce	četnost interakce
přítomnost nafty v palivovém hospodářství DGS	objekty 531/1-01 a 531/1-02	lze zanedbat	---
přečerpávání nafty v palivovém hospodářství DGS	objekty 531/1-01 a 531/1-02	lze zanedbat	---
doplňování nafty v palivovém hospodářství DGS	objekty 531/1-01 a 531/1-02, plocha stáčení nafty	nelze zanedbat	lze zanedbat
výměna nafty v palivovém hospodářství DGS	objekty 531/1-01 a 531/1-02, plocha stáčení nafty	nelze zanedbat	lze zanedbat
přítomnost a doplňování kyseliny sírové v úpravě chladící vody	objekt 591/1-01 a místo pro stáčení chemikálií	lze zanedbat	---
přítomnost a doplňování kyseliny dusičné v úpravě chladící vody	objekt 592/1-01 a místo pro stáčení chemikálií	lze zanedbat	---
přítomnost a doplňování hydrazinhydrátu v úpravě chladící vody	objekt 592/1-01 a místo pro stáčení chemikálií	lze zanedbat	---
přítomnost a doplňování čpavkové vody v úpravě chladící vody	objekt 592/1-01 a místo pro stáčení chemikálií	lze zanedbat	---
přítomnost kapalných hořlavin ve skladu olejů a hořlavin	objekt 641/1-01	lze zanedbat	---
přítomnost acetylénu ve skladu technických plynů v lahvích	objekt 643/1-01	lze zanedbat	---

zdroj rizika	umístění	účinek interakce	četnost interakce
přítomnost vodíku ve skladu technických plynů v lahvích	objekt 643/1-01	lze zanedbat	---
přítomnost kyslíku ve skladu technických plynů v lahvích	objekt 643/1-01	lze zanedbat	---
přítomnost propanu ve skladu technických plynů v lahvích	objekt 643/1-01	lze zanedbat	---
přítomnost metanu ve skladu technických plynů v lahvích	objekt 643/1-01	lze zanedbat	---
přítomnost vodíku v tlakové stanici vodíku	objekt 644/1-01	lze zanedbat	---
doplňování vodíku v tlakové stanici vodíku	objekt 644/1-01 a plocha před ním	lze zanedbat	---
přítomnost kyslíku v hlavním zdroji hospodářství kyslíku	objekt 644/1-02.1	nelze zanedbat	nelze zanedbat
doplňování kyslíku v hlavním zdroji hospodářství kyslíku	objekt 644/1-02.1 a plocha před ním	nelze zanedbat	lze zanedbat
přítomnost pohonných hmot v čerpací stanici pohonných hmot	objekty 703/1-01 a 703/1-02	lze zanedbat	---
doplňování benzinu v čerpací stanici pohonných hmot	objekt 703/1-02 a plocha před ním	nelze zanedbat	lze zanedbat
doplňování nafty v čerpací stanici pohonných hmot	objekt 703/1-01 a plocha před ním	nelze zanedbat	lze zanedbat
přítomnost dusíku ve skladovém dusíkovém hospodářství	objekt 644/1-02	lze zanedbat	---
doplňování dusíku ve skladovém dusíkovém hospodářství	objekt 644/1-02 a plocha před ním	nelze zanedbat	lze zanedbat
železniční přeprava nafty k palivovému hospodářství DGS HVBI	od žel. vrátnice k objektu 531/1-01	nelze zanedbat	lze zanedbat
železniční přeprava nafty k palivovému hospodářství DGS HVBII	od žel. vrátnice k objektu 531/1-02	nelze zanedbat	lze zanedbat
železniční přeprava kys. sírové k úpravě chladící vody	od žel. vrátnice k objektu 591/1-01	lze zanedbat	---
železniční přeprava kys. dusičné k úpravě chladící vody	od žel. vrátnice k objektu 592/1-01	nelze zanedbat	lze zanedbat
železniční přeprava čpavkové vody k úpravě chladící vody	od žel. vrátnice k objektu 592/1-01	nelze zanedbat	lze zanedbat
silniční přeprava acetylénu ke skladu tech. plynů v lahvích	od sil. vrátnice k objektu 643/1-01	nelze zanedbat	lze zanedbat
silniční přeprava vodíku ke skladu tech. plynů v lahvích	od sil. vrátnice k objektu 643/1-01	lze zanedbat	---
silniční přeprava kyslíku ke skladu tech. plynů v lahvích	od sil. vrátnice k objektu 643/1-01	nelze zanedbat	lze zanedbat
silniční přeprava propanu ke skladu tech. plynů v lahvích	od sil. vrátnice k objektu 643/1-01	lze zanedbat	---
silniční přeprava metanu ke skladu tech. plynů v lahvích	od sil. vrátnice k objektu 643/1-01	lze zanedbat	---
silniční přeprava vodíku v bateriovém voze k tlakové stanici vodíku	od sil. vrátnice k objektu 644/1-01	nelze zanedbat	lze zanedbat
silniční přeprava kyslíku k hlavnímu zdroji hospodářství kyslíku	od sil. vrátnice k objektu 644/1-02.1	nelze zanedbat	lze zanedbat
silniční přeprava benzinu k čerpací stanici pohonných hmot	od sil. vrátnice k objektu 703/1-02	nelze zanedbat	lze zanedbat
silniční přeprava nafty k čerpací stanici pohonných hmot	od sil. vrátnice k objektu 703/1-01	nelze zanedbat	lze zanedbat
silniční přeprava dusíku ke skladovému dusíkovému hospodářství	od sil. vrátnice k objektu 644/1-02	nelze zanedbat	lze zanedbat
silniční přeprava hydrazinhydrátu k úpravě chladící vody	od sil. vrátnice k objektu 592/1-01	nelze zanedbat	nelze zanedbat

2.4 Meteorologické podmínky

2.4.1 Vymezení předmětu kapitoly

Předmětem kapitoly je zpracování meteorologických podmínek pro lokalitu v souladu s požadavky a doporučeními IAEA zejména pak se standardem IAEA NS-R-3 Site Evaluation for Nuclear Instalation, Safety Requirements (2003) a doporučeními IAEA NS-G-3.4 Meteorological Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants (2003) a IAEA SSG-18 Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations (2011).

V návaznosti na zpracování těchto podmínek je provedeno jejich vyhodnocení dle příslušných kritérií tak, jak je definuje vyhláška SÚJB č. 215/1997 Sb. o kritériích na umísťování jaderných zařízení a velmi významných zdrojů ionizujícího záření Error: Reference source not found.

Popis, analýza a vyhodnocení byly provedeny pro:

- extrémní a výjimečně se vyskytující meteorologické jevy,
- meteorologické údaje potřebné k posouzení rozptylu radioaktivních látek v ovzduší.

2.4.2 Základní vstupní údaje pro hodnocení

2.4.2.1 Specifikace extrémních hodnot meteorologických parametrů

Teplota - extrémní zatížení účinky venkovních teplot jsou stanoveny na základě měření venkovních teplot vzduchu na meteorologických stanicích Dukovany, Kuchařovice a Moravské Budějovice. Stanovení extrémních hodnot zatížení venkovními teplotami byl provedeno experty z ČHMÚ při použití Gumbelova rozdělení. Na základě výsledků statistických odhadů a výsledků Rámcového projektu EU: Specific targeted research project Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment byly stanoveny hodnoty, které mohou být překročeny do roku 2030 s pravděpodobností ne vyšší než 1/10 000, výsledné hodnoty jsou v následující tabulce.

Tab. 11. Hodnoty maximálních a minimálních teplot vzduchu pro užší lokalitu a jejich předpoklad nepřekročení do roku 2030.

Stanovené hodnoty teplotních extrémů EDU (°C)	Doba opakování		Předpoklad do roku 2030
	100 let	10000 let	
Max / min okamžitá teplota	40,5 / -31,7	49 / -47,9	do 42 / -36
Max / min 6 hodinový průměr	38,8 / -27,1	46,3 / -41,4	do 40 / -32
Max / min 24 hodinový průměr	31,8 / -23,9	37,8 / -37,3	34 / -26
Max / min 7 denní průměr	28,7 / -19,0	34,8 / -30,9	do 32 / -23

Rychlost větru - při stanovení zatížení se vychází z naměřených ročních maximálních hodnot okamžitých rychlostí větru. Nárazy větru jsou naměřené okamžité 1s hodnoty rychlosti větru. Pro stanovení extrémního zatížení větrem byly vybrány stanice Dukovany, Brno-Tuřany, Kostelní Myslová, Kuchařovice, Luká a Přibyslav s využitím Gumbelova rozdělení. Návrhové hodnoty nárazů větru do roku 2030 i do roku 2100 jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 12. Doporučené hodnoty odhadu 1s a 10 s a 10 min zatížení větrem (m/s)

Doba opakování	100 let	10 000 let
Náraz větru 1 s (m/s)	46,5	63,4
Náraz větru 10 s (m/s)	37,7	51,4

Desetiminutová střední rychlost (m/s)	26	35,4

Srážky - návrhové hodnoty 24h úhrnů srážek pro lokalitu byly stanoveny na základě odhadů provedených Gumbelovým rozdělením a pro doplnění i GEV (generalizované extremální rozdělení) pro stanice Dukovany, Pohořelice, Kuchařovice a Brno-Tuřany. Při stanovení návrhových hodnot krátkodobé intenzity srážek (mm) bylo přihlédnuto k výsledkům odhadů intenzit deště jednak podle Gumbelova rozdělení i metodou zpracování podle Trupla na stanicích Pohořelice, Brno-Tuřany, Kuchařovice, Kostelní Myslová, Dukovany z oblastních průměrů počítaných z uvedených stanic.

Pravděpodobnostní oblastní hodnota 24hodinového úhrnu srážek pro stoleté srážky činí 77 mm a pro desetitisícileté srážky 125 mm. To odpovídá i pravděpodobnostním odhadům pro období do roku 2030.

Sněhové poměry - jako výchozí hodnoty byly použity denní údaje „vodní hodnoty sněhové pokrývky vypočítané“, které jsou počítány v ČHMÚ ze sněhoměrných dat (denní úhrn srážek, nový sníh, celková sněhová pokrývka, vodní hodnota sněhu měřená) na základě speciální metodiky vyvinuté v ČHMÚError: Reference source not found. Pro stanovení hodnoty zatížení extrémním sněhem byly provedeny výpočty s využitím více metod Gumbelova rozdělení, pro doplnění i generalizovaným extremálním rozložením (GEV).

Návrhové hodnoty doporučené ČHMÚ pro lokalitu založené na vyhodnocení umělé řady ročních maxim vodní hodnoty sněhu z 3 stanic pro „okruh do 10 km od EDU“ jsou 117,7 mm pro dobu opakování 100 let, 162,2 mm pro dobu opakování 1 000 let a 206,7 mm pro dobu opakování 10 000 let. Tyto hodnoty odpovídají i pravděpodobnostním odhadům pro období do roku 2030 a současně nevybočují ani z výsledků výzkumného projektu klimatických změn Rámcového projektu EU: Specific targeted research project Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment.

Vodní hodnota sněhu 206,7 mm získaná prostřednictvím metody maxim pro „okruh do 10 km“ je však hodnotou značně konzervativní. Hodnoty 10 000 letých extrémů vodní hodnoty sněhu pro žádnou z jednotlivých stanic v okolí EDU nepřevyšují hodnotu 196,8 mm. Na základě metodiky pro hodnocení konstrukcí stavebních objektů EDU1-4 a ETE1-2 byla hodnota 196,8 mm použita jako návrhová vodní hodnota sněhu pro EDU1-4 pro dobu opakování 10 000 let. To znamená, že hodnota 196,8 mm vodního sloupce pro dobu opakování 10 000 let je v současnosti v souladu s výše uvedenou metodikou i vstupní hodnotou pro posuzování odolnosti staveb a technologie EDU1-4 vůči vlivu extrémním meteorologickým podmínkám.

2.4.2.2 Specifikace výjimečně se vyskytujících a jiných meteorologických jevů

Data byla zpracována podle požadavků doporučení IAEA NS-G-3.4 Meteorological Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants (2003) a SSG-18 Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations (2011)Error: Reference source not found.

Pro zpracování dlouhodobých průměrných počtů dní s jevem (bouřky, námraza, kroupy) byla podle těchto doporučení použita data napozorovaná nejen na meteorologické stanici Dukovany, ale i data z nejbližších klimatologických stanic Kuchařovice, Luká a Brno-Tuřany, na kterých se tyto jevy rovněž měří.

Výjimečně se vyskytující a jiné meteorologické jevy, které byly v této kapitole hodnoceny, jsou sněhové bouře, prachové a písečné bouře, tropické cyklóny, tajfuny, hurikány, tropické bouře, sucho, námraza, kroupy, blesky, tornáda a vodní smršť.

Vzhledem k povaze některých těchto jevů a oblastem jejich výskytu lze říct, že sněhové bouře, prachové a písečné bouře, tropické cyklóny, tajfuny, hurikány, tropické bouře a vodní smršť se v našich podnebných podmínkách nevyskytují a nejsou ani v síti ČHMÚ pozorovány a není je tedy potřeba v bezpečnostních hodnoceních EDU specificky zohledňovat.

Sucho - pro potřeby bezpečnostní zprávy EDU bylo sucho definováno jako délka souvislého intervalu dní s denními úhrny srážek do 2 mm včetně (tj. období se silným deficitem vláhy). Na základě posouzení výsledků různých metod odhadu extrémních délek trvání sucha a s přihlédnutím k délce datových řad byly ČHMÚ stanoveny výsledné odhady pro doby opakování 100 let – 74 dní a 10 000 let – 126 dní. Jev „sucho“ nepředstavuje omezení ve využití lokality.

Námraza – tento jev byl posuzován na základě pozorování námrazy a mrznoucích srážek na stanicích Dukovany, Kuchařovice a Luká. Nejvyšší hodnotu pro maximální roční počet dní s námrazou i s mrznoucími srážkami vykazuje stanice Luká – 36 dní pro oba jevy. Nejvyšší hodnotu průměrného ročního počtu dní s námrazou pak vykazuje stanice Dukovany – 13,7 dní a s mrznoucími srážkami pak stanice Luká – 11,5 dní. Jev „námraza“ a „mrznoucí srážky“ nepředstavuje omezení ve využití lokality.

Kroupy – tento jev byl obdobně jako jev „námraza“ posuzován na základě pozorování ve stanicích Dukovany, Kuchařovice a Luká, přičemž nejvyšší hodnotu pro maximální roční počet dní s kroupami vykazuje stanice Dukovany – 7 dní, a nejvyšší průměrný roční počet dní s kroupami vykazuje stanice Luká – 1,4 dní. Jev „kroupy“ nepředstavuje omezení ve využití lokality.

Blesky – pro je „blesky“ jsou dle ČHMÚ za nejreprezentativnější považovány hodnoty z observatoře Dukovany, bez ohledu na to, že se jedná o časovou řadu 31 let, neboť jsou to místní údaje a podle porovnání s okolními stanicemi neexistuje dostatečně těsná vazba bouřkových charakteristik jednotlivých stanic. Průměrný roční počet dní s bouřkami pozorovaný na stanici Dukovany je 22,2 dní a maximální roční počet dní s bouřkou pak je 34 dní. Roční průměr dní s bouřkou přibližně koresponduje s průměrným ročním počtem dnů s výskytem alespoň 2 blesků do země pro okolí 10 a 15 km.

Při výskytu blesku na území střední Evropy lze očekávat výboje typu mrak - zem mezi 10 až 15 výboji na čtvereční kilometr za rok neboli jeden výboj za 10 let pro oblast vymezenou okruhem 100 m. Přitom pouze pro 1 % z těchto výbojů typu mrak - zem proud výboje dosáhne nebo přesáhne 200 kA.

Pro EDU1-4 je výskyt blesků (jak z hlediska četnosti výskytu, tak i proudu výboje) na stavební konstrukce a systémy elektrárny řešen v rámci systémů uzemnění a jímacích zařízení – hromosvodů. Jev „Blesky“ nepředstavuje omezení ve využití lokality.

Tornáda - informace o výskytu tornád na území ČR dokumentuje průběžně aktualizovaný přehled umístěný na webové stránce ČHMÚ (http://www.tornada-cz.cz). Na území České Republiky je databázi ČHMÚ zaznamenáno cca 90 tornád, z toho cca 33 o intenzitě F1, cca 19 třídy F2 a cca 3 o intenzitě F3. Počty jsou přibližné z toho důvodu, že u některých případů nebylo možné rozhodnout o přesném zařazení k danému stupni. Údaje o výskytu tornád na území Rakouska jsou uloženy v databázi European Severe Weather Database. Tornáda z oblastí přiléhajících k lokalitě pak byla použita pro stanovení návrhových parametrů. Současně byly použity též příslušné případy výskytů tornád z přilehlé části Slovenska (uvedeno opět na téže webové stránce ČHMÚ http://www.tornada-cz.cz).

Pravděpodobnost výskytu tornáda v lokalitě o intenzitě F1 v lokalitě je přibližně sedmkrát za 100 000 let (hodnota v tabulce 6,5) a pravděpodobnost výskytu tornáda o intenzitě F2 je zhruba jednou (v tabulce hodnota 0,6) za 100 000 let (tj. s odhadovaným maximálním nárazem větru 51-70 $m \cdot s^{-1}$). Pravděpodobnost výskytu tornáda o intenzitě vyšší než je intenzita F2 v uvažované oblasti je 0,1 za milión let. Za uvažované období se vyskytly pouze dva případy o intenzitě F3 (Litovel a Himberg). Pravděpodobnost výskytu tornáda o intenzitě F1 a vyšší pro lokalitu je cca dvanáctkrát za 100 000 let.

2.4.2.3 Meteorologické parametry ovlivňující rozptyl

Meteorologické parametry ovlivňující rozptyl a podklady pro difuzní model lokality tvoří:

- kategorie stability atmosféry. Stanovení kategorií stability v sobě zahrnuje i stanovení podmínek turbulence a vertikálního teplotního zvrstvení,

- údaje o vektoru proudění,
- údaje o srážkách.

Rozptylové podmínky v atmosféře uvedené v doporučení IAEA NS-G-3.2 Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclear Power Plants (2002) lze souborně vyjádřit pomocí tříd stability

Kategorie stability – relativní četnost kategorií stability uvádí následující tabulka.

Tab. 13. Relativní četnost výskytu kategorií stability na stanici Dukovany.

Dlouhodobý průměr	Kategorie						Celkem
	A	B	C	D	E	F	
	silně instabilní (labilní)	instabilní	mírně instabilní	indiferentní (neutrální)	stabilní	silně stabilní	
2004-2012	22,8	11,2	14,9	31,8	6,9	12,24	100

Hodnoty uvedené v předcházející tabulce byly zpracovány jako průměr pro období 2004-2012 na základě výsledků měření automatické meteorologické stanice EDU podle programů pro výpočet tříd stability podle Pasquillovy stupnice se vzorkováním po 10 minutách.

Směr a rychlost větru - Pro zpracování hodnot četnosti směrů a rychlosti byla využita data rychlosti větru naměřená měřícím systémem tj. dle aktuálně používané metodiky hodnocení stability atmosféry.

Tab. 14. Specifikace tříd rychlosti.

Třída	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Rychlost [m/s]	0-0,1	0,2-1,0	1,1-2,0	2,1-3,0	3,1-4,0	4,1-6,0	6,1-8,0	8,1-12	12,1-16	16,1-20	20,1-25	>25,1
Třídní rychlost	0,05	0,6	1,5	2,5	3,5	5	7	10	15	18	22,5	25,1

Tab. 15. Relativní četnosti směru větru pro jednotlivé třídy rychlostí větru na stanici Dukovany bez rozlišení kategorie stability. Období 2000-2012.

Kategorie A..F	Třída rychlosti větru												
Sektor	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Celkem
N	0,021	0,670	1,512	1,477	1,275	1,602	0,453	0,145	0,002	0	0	0	7,156
NNE	0,017	0,520	0,801	0,595	0,478	0,519	0,12	0,023	0	0	0	0	3,073
NE	0,023	0,557	1,042	1,042	0,915	1,095	0,28	0,043	0	0	0	0	4,998
ENE	0,019	0,525	1,180	1,492	1,523	1,426	0,092	0,006	0	0	0	0	6,261
E	0,020	0,487	1,221	1,586	1,89	1,617	0,074	0,001	0	0	0	0	6,896
ESE	0,010	0,345	0,751	0,909	1,214	2,438	0,875	0,138	0,001	0	0	0	6,681
SE	0,01	0,28	0,571	0,639	0,852	1,986	1,443	0,80	0,01	0	0	0	6,614

	2	9						8	2				
SSE	0,007	0,277	0,600	0,634	0,452	0,402	0,141	0,058	0,001	0	0	0	2,573
S	0,011	0,310	0,675	0,680	0,545	0,525	0,107	0,013	0	0	0	0	2,867
SSW	0,008	0,293	0,625	0,711	0,531	0,372	0,075	0,009	0	0	0	0	2,624
SW	0,014	0,377	0,806	0,860	0,655	0,755	0,179	0,069	0,002	0	0	0	3,717
WSW	0,007	0,290	0,614	0,689	0,56	0,798	0,386	0,206	0,021	0	0	0	3,572
W	0,014	0,319	0,793	1,151	1,059	1,857	1,259	0,906	0,082	0,006	0	0	7,446
WNW	0,010	0,342	0,806	1,287	1,186	1,676	1,199	0,764	0,097	0,004	0,001	0	7,373
NW	0,020	0,539	1,586	2,693	2,861	4,658	2,758	1,465	0,078	0,002	0	0	16,660
NNW	0,018	0,567	1,413	1,912	2,072	3,384	1,593	0,513	0,016	0	0	0	11,488
Celkem	0,232	6,707	14,996	18,357	18,067	25,112	11,034	5,17	0,312	0,012	0,001	0	100,000

Indikátory turbulence v atmosféře - třídy stability, viz výše, zahrnují v sobě informaci o míře turbulence v atmosféře potřebnou pro výpočty difuzních modelů lokality. Není proto nutné další indikátor turbulence uvádět.

Srážky – jev byl zpracován podle požadavků doporučení IAEA NS-G-3.2 Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclear Power Plants (2002). Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 16. Frekvenční rozdělení intenzity srážek v rozlišovaných třídách 2004 až 2012

Třída	I	II	II	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Celkem
Intenzita srážek [mm/h]	**0**	**0.0-0.1**	**0.2-0.4**	**0.5-1.0**	**1.1-2.0**	**2.1-3.0**	**3.1-6.0**	**6.1-10**	**10.1-20.0**	**>20**	**>=0**
2004	94,34	1,84	1,58	1,45	0,52	0,09	0,11	0,05	0,01	0	100
2005	93,89	1,89	1,76	1,63	0,39	0,15	0,22	0,07	0	0	100
2006	99,02	0,83	0,15	0	0	0	0	0	0	0	100
2007	95,01	1,73	1,66	0,92	0,38	0,14	0,12	0,02	0,01	0,01	100
2008	98,72	0,58	0,43	0,17	0,08	0,02	0,01	0	0	0	100
2009	90,87	2,9	3,83	1,4	0,61	0,14	0,21	0,02	0,02	0,01	100
2010	92,58	2,56	2,45	1,33	0,64	0,22	0,14	0,04	0,04	0,01	100
2011	95,5	1,51	1,57	0,77	0,38	0,12	0,09	0,03	0,01	0,01	100
2012	95,23	1,59	1,41	0,79	0,5	0,18	0,16	0,07	0,04	0,02	100
Průměr	95,02	1,71	1,65	0,94	0,39	0,12	0,03	0,01	0,29	0,01	100

Teplota vzduchu - údaje o teplotě vzduchu jsou v rámci této kapitoly doporučovány s ohledem na míru ovlivnění rozptylu v atmosféře, především údaje o vertikálním zvrstvení. Relevantní teplotní údaje jsou implicitně zahrnuty do kategorizace

stabilitních tříd podle Pasquilla, takže není nutno je pro potřeby rozptylových studií uvádět.

Inverze - analýza četnosti inverzních situací byla zpracována na podkladě meteorologických měření ze 48 stanic ČHMÚ na území ČR za období 1. ledna 1961 až 31. března 2012, bez ohledu na úplnost pozorování. Jedná se o profesionální stanice s měřením meteorologických parametrů v hodinovém kroku. Pro výpočet byly využity následující prvky: množství nejnižší pozorované vrstvy oblačnosti a výška její základny a rychlost větru. Dále byla využita data o výšce Slunce nad obzorem.

2.4.3 Výsledky hodnocení

Pro posouzení meteorologických podmínek v lokalitě byly v roce 2014 informace ČHMÚ dosud vydané k lokalitě ověřeny a doplněny.

Užší lokalita vyhovuje kritériu dle vyhlášky SÚJB č. 215/1997 Sb. o požadavcích na umístění jaderných zařízení. Meteorologická situace v lokalitě byla dále posouzena z hlediska požadavků uvedených ve standardu IAEA NS-R-3 Site Evaluation for Nuclear Instalation, Safety Requirements (2003) a ani zde nebyl shledán žádný meteorologický jev, který by vylučoval nebo podmiňoval další provoz EDU1-4.

Projektová východiska vztahující se k extrémním a výjimečně se vyskytujícím meteorologickým jevům byla pro EDU1-4 prověřena v části 3.3 této zprávy.

2.5 Hydrologické podmínky

2.5.1 Vymezení předmětu kapitoly

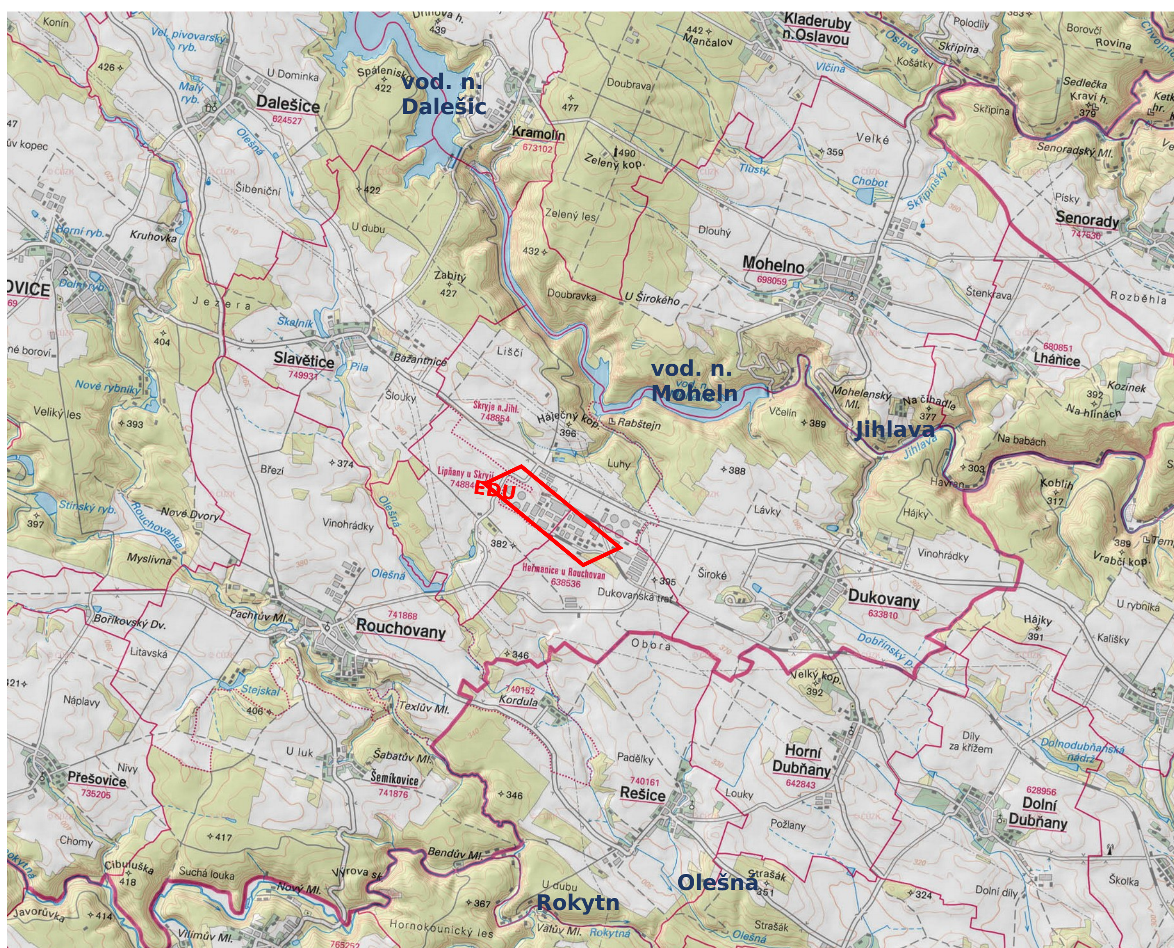
Předmětem kapitoly je popis proudění povrchových vod v lokalitě a jejím okolí a posouzení možnosti zaplavení STP EDU1-4 v důsledku působení v úvahu přicházejících přírodních vlivů nebo uvolněním vody při havárii vodních nádrží a kombinací těchto událostí. Dále je uveden způsob zásobování průmyslovou vodou EDU1-4.

2.5.2 Základní vstupní údaje pro hodnocení

2.5.2.1 Hydrologie oblasti

Z hydrologického hlediska se EDU1-4 nachází na rozvodnici dvou toků – Jihlavy a Rokytné. Severní část území v okolí EDU1-4 je odvodňované skrze drobné vodní toky do nádrže Mohelno na řece Jihlavě. Z jihu je okolí EDU1-4 odvodňováno skrze drobné vodní toky do říčky Olešná, která je levostranným přítokem Rokytné.

Řeka Jihlava se soustavou vodních nádrží Dalešice – Mohelno a přečerpávací vodní elektrárnou je největším vodním tokem v této oblasti. V těsné blízkosti EDU1-4 severním směrem (1,0 km) je na řece Jihlavě VD Dalešice, které sestává z horní nádrže Dalešice s max. hladinou na kótě 381,50 m n. m. a z dolní vyrovnávací nádrže Mohelno s max. hladinou na kótě 303,30 m n. m.



Obr. 18. Hydrologie oblasti.

Odběr vody pro EDU1-4 je uskutečněn ze spodní nádrže Mohelno, do které jsou současně vypouštěny i odpadní vody. Odvodnění elektrárny je řešeno segregovaným kanalizačním systémem. Z elektrárny jsou odváděny vody srážkové, splaškové a průmyslové. Odtok srážkových, splaškových a průmyslových vod je řešen gravitačním způsobem a lze jej organizovaně řídit zejména u průmyslové kanalizace.

2.5.2.2 Řeka Jihlava

Řeka Jihlava je pravostranným přítokem řeky Svratky, do které se vlévá ve střední nádrži vodního díla Nové Mlýny v nadmořské výšce 169 m n. m. Jihlava pramení na Českomoravské vrchovině, její pramen se nachází u obce Počátky v kopcovitém terénu s výškou 665,98 m n. m. Rychlost proudění vody v korytě řeky je 0,3 až 1 m/s, průtok na přítoku do horní nádrže VD Dalešice se pohybuje kolem ročního průměru 6 m^3/s. Okamžitá hodnota průtoků v průběhu roku značně kolísá.

VD Dalešice - Vodní dílo Dalešice skládající se z nádrže Dalešice a vyrovnávací nádrže Mohelno, kam řeka pod obcí Vladislav ústí, plní funkce energetické, vodohospodářské a nadlepšovací. Přečerpávací vodní elektrárna vyrábí špičkovou elektrickou energií pro vyrovnání diagramu denního zatížení, k regulaci frekvence předávacích výkonů a k zajištění rezervy výkonu při poruchách na ostatních energetických zdrojích.

Vodní dílo dále slouží jako zdroj technologické vody pro EDU1-4, jako recipient odpadních vod z EDU1-4 a jako ochrana před povodněmi. Vodní dílo slouží také pro nadlepšování průtoku pod nádrží Mohelno. V pořadí důležitosti využití vodního díla se uvádí zabezpečení minimálních průtoků pod nádrží Mohelno, dodávka průmyslové vody pro EDU1-4 a ostatní účely (odběry vody pro závlahy a průmysl).

Tab. 17. Přehled nádrží VD Dalešice

nádrž	[ř.km]	$S_{POVODÍ}$ [km^2]	$S_{ZÁTOPY}$ [ha]	$L_{VZDUTÍ}$ [km]	$V_{CELKOVÝ}$ [mil. m^3]	H_{MAX} [m n.m.]	Q_a [m^3/s]	Q_{100} [m^3/s]
Dalešice	65,944	1139,07	482,0	22	126,9	381,5	6,239	310,0
Mohelno	58,940	1155,26	117,4	7	17,1	303,3	5,354	315,0

Legenda:

[ř.km] – říční kilometr

Spovodí [km2] – plocha povodí

Szátopy [ha] – maximální zatopená plocha

Lvzdutí [km] – délka vzdutí

Vcelkový [mil. m3] – celkový objem

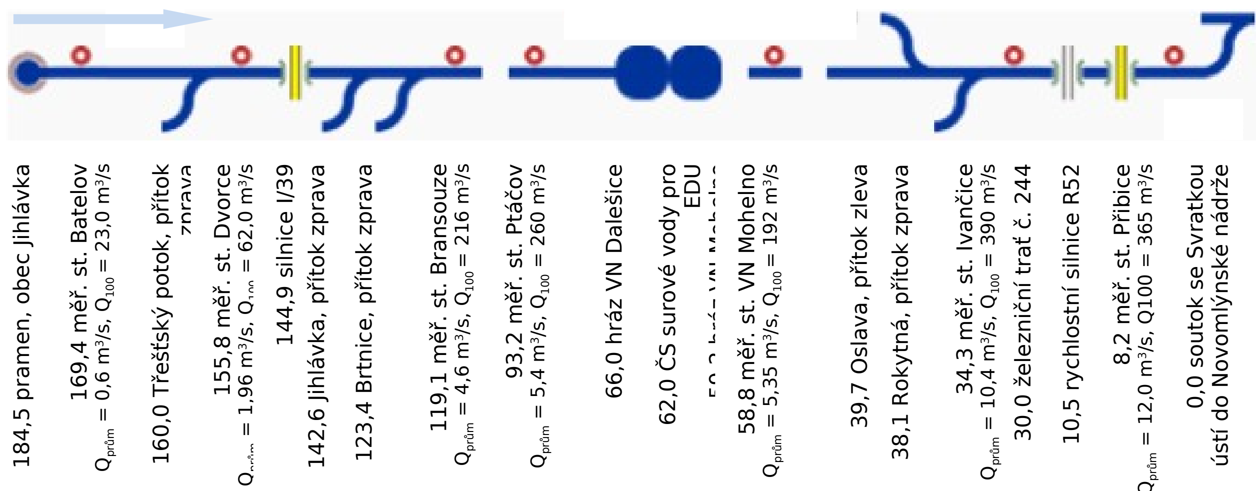
Hmax [m n.m.] – maximální hladina v nádrži

Qa [m3/s] – dlouhodobý roční průtok

Q100 [m3/s] – N-letý průtok

2.5.2.3 Regionální vodoteče spadající do povodí Jihlavy

Vodní toky nacházející se v povodí Jihlavy tvoří hustou říční síť, zejména na horním a středním toku. Směrem k ústí řeky se hustota říční sítě mírně zmenšuje. Odtok vody z území je pozvolný díky tvaru povodí Jihlavy, který je protáhlý. Mezi významné přítoky Jihlavy patří Třešťský potok, Jihlávka, Brtnice, Oslava a Rokytná, podrobné informace



jsou v následující tabulce.

Obr. 19. Schéma toku řeky Jihlavy

Tab. 18. Významné přítoky Jihlavy

řeka	$S_{POVODÍ}$ [km^2]	přítok	říční km	kam	kde
Třešťský potok	105,4	pravostranný	160,000	Jihlava	u Kostelce
Jihlávka	106,4	pravostranný	142,600	Jihlava	v Jihlavě
Brtnice	122,1	pravostranný	123,400	Jihlava	u Přímělkova
Oslava	867,2	levostranný	39,700	Jihlava	v Ivančicích
Rokytná	584,3	pravostranný	34,300	Jihlava	u Ivančic

2.5.2.4 Místní vodoteče a lokální vodní plochy

Místní vodoteče - severní část území v okolí EDU1-4 je odvodňováno skrze drobné vodní toky – Skryjský potok a Luhy do nádrže Mohelno na řece Jihlavě. Z jihu je okolí EDU1-4 odvodňováno skrze Lipňanský a Heřmanický potok do říčky Olešná, která je levostranným přítokem Rokytné. Rokytná je pravostranným přítokem řeky Jihlavy, ústí do ní v Ivančicích nad jezem Réna v ř. km 38,110. Všechny drobné toky odvodňující okolí

EDU1-4 mají v zájmovém území pramennou oblast, a to pod úrovní kaskádovitého uspořádní EDU1-4. Jedná se o drobné vodní toky s průtoky o alespoň dva řády nižšími oproti řece Jihlavě.

Tab. 19. Významné místní bystřiny

pol.	vodoteč	povodí – [ř.km]	L [km]	$S_{POVODÍ}$ [km²]	$Q_{PRŮM}$ [m³/s]
1	Luhy	Skryjský potok – 0,355	1,53	2,69	0,0052
2	Skryjský potok	Jihlava (VD Dalešice) – 60	1,92	2,56	0,0049
3	Lipňanský potok	Olešná – 8,126	0,916	2,13	0,0004
4	Heřmanický potok	Olešná – 5,539	0,84	2,63	0,0005

Místní vodní plochy - Nejvýznamnější vodní plochou v užší lokalitě je vodní nádrž Mohelno, která je součástí VD Dalešice. Nádrž Mohelno patří do chráněného území Údolí Jihlavy dle zákona č.114/1992 Sb. Menší vodní plochy v bezprostředním okolí EDU1-4 jsou situovány především na říčce Olešná a jejích přítocích. Jsou to zejména rybník Skalník a drobná bezejmenná nádrž ve Slavěticích, dvě drobné nádrže na přítoku Bažantice, Závlahová nádrž na soutoku s Lipňanským potokem, drobná nádrž na Lipňanském potoku a další dvě nádrže u obce Kordula (jedna na soutoku s Heřmanickým potokem). Další vodní plochy jsou situovány na Skryjském potoku. Jde o pojistnou a záchytnou nádrž, do které jsou zaústěny odpadní vody z EDU1-4. Severním až severozápadním směrem od EDU1-4 se ve vzdálenosti 14 - 18 km nacházejí největší rybniční soustavy, nacházející se v lokalitě.

2.5.2.5 Odběr technologické vody pro EDU1-4

Zásobování EDU1-4 chladící vodou je zajišťováno z VD Dalešice, které zahrnuje soustavu dvou vodních nádrží - Dalešice (hráz Kramolín) a Mohelno (hráz Mohelno) vybudovaných na řece Jihlavě. Samotný odběr je zajišťován čerpací stanicí, umístěnou na pravém břehu vyrovnávací nádrže, v říčním kilometru 61,5. Vtok do čerpací stanice je řešen dvěma vtokovými jímkami, které tvoří s čerpací stanicí jeden objekt. Hrazení jednoho vtoku umožňuje odstavení poloviny čerpací stanice, tj. čtyř čerpadel. Dopravu průmyslové vody zajišťuje celkem osm vertikálních odstředivých čerpadel. Čtyři čerpadla jsou provozní, další čtyři tvoří 100 % zálohu. Voda z čerpací stanice Jihlava je dopravována do vodojemu 4 x 2 000 m³ dvěma výtlačnými řady z ocelových trub DN 1000 mm uložených v zemi o délce 1,5 km. Oba výtlačné řady DN 1000 po výstupu z čerpací stanice a překonání 107,7 až 121 m výškového převýšení (v závislosti na hladině na sání) jsou zavedeny do objektu gravitačního vodojemu.

Hlavním účelem VD Dalešice je, při zabezpečení minimálních průtoků pod nádrží Mohelno, zajištění dodávky vody pro EDU1-4, a to v max. množství 3 m³/s, 6,3 mil. m³/měsíc, či 63 mil. m³/rok v souladu s vydaným povolením k nakládání s vodami. Průměrný odběr vody pro EDU1-4 činí 1,998 m³/s, z čehož se průměrně 0,888 m³/s vrací zpět formou kapalných výpustí a 1,11 m³/s se odpaří v chladicích věžích.

2.5.2.6 Vypouštění odpadních vod

Pro příjem odpadní vody vypouštěné z elektrárny slouží soustava dvou přehradních nádrží, Dalešice a Mohelno, které rozdělují tok řeky do dvou částí, jejíž dolní část dále transportuje a rozptyluje vypouštěné radioaktivní látky. Vypouštění odpadních vod do nádrže Mohelno, ke kterému dochází po celou dobu provozu jaderné elektrárny Dukovany, je provozovatelem EDU1-4 komplexně prověřováno a výsledky uváděny v příslušných ročních zprávách.

Pro omezení zatížení hydrosféry a obyvatelstva výpustmi z EDU1-4 do vodotečí jsou dozorným orgánem SÚJB stanoveny limity a podmínky pro normální provoz JE Dukovany. V souladu s těmito limity aktivity umělých radionuklidů, vznikajících v JE (aktivační a

štěpné produkty včetně tritia) a vypouštěných do vodotečí odpadním kanálem během jednoho kalendářního roku nesmí způsobit u jednotlivce z obyvatelstva úvazek efektivní dávky E vyšší než Emax. = 6 µSv. Hodnoty pro tritium (které se jeví jako největší znečišťovatel) ve vodárenských vodách byly stanoveny nařízením vlády ČR č. 61/2003 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech ve výši 700 Bq/l.

V současném provozu EDU1-4 je vypouštění odpadních vod realizováno výsledným sběračem do záchytné nádrže na Skryjském potoce, odkud jsou odpadní vody vedeny zčásti korytem Skryjského potoka a zčásti přes dvě malé vodní elektrárny do vodní nádrže Mohelno.

Samotné vody z jaderné elektrárny jsou odváděny oddělenými kanalizacemi – dešťovou a splaškovou. Do výsledného kmenového sběrače technologických a dešťových vod jsou zaústěny vody ze:

- speciální průmyslové kanalizace, která odvádí odluhy z chladících okruhů, vody z chemických provozů EDU1-4 a vody z KP,
- průmyslové kanalizace zaolejovaných vod, do které ústí vody s potenciální možností výskytu ropných látek, které před odtokem do dešťové kanalizace procházejí čistící stanice zaolejovaných vod. Samotná dešťová kanalizace odvádí také veškeré dešťové vody ze STP EDU1-4.

Splašková kanalizace odvádí odpadní vody ze sociálních zařízení, jídelny a speciální prádelny na čistírnu odpadních vod (ČOV) a vyčištěné odpadní vody jsou svedeny do výsledného sběrače splaškových vod.

2.5.2.7 Plavební cesta

Pro vodní dopravu nejsou v území podmínky, teoreticky využitelná pro vodní dopravu je pouze VD Dalešice, kde je v současnosti provozována pouze rekreační lodní doprava. Podle návodu IAEA NS-G-3.1Error: Reference source not found External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants (2002) byl tok řeky Jihlavy mezi hrázemi vodních děl Dalešice a Mohelno tj. vodní nádrž Mohelno posouzen jako možná cesta pro pronikání škodlivých kapalin ke vtokovému objektu EDU.

2.5.2.8 Záplavy

Ze zařízení elektrárny, u kterých hrozí potencionální možnost zaplavení při průchodu velkých vod v řece Jihlavě, lze vybrat pouze čerpací stanici průmyslové vody na řece Jihlavě. Tlumení povodní je prováděno VD Dalešice podle povodňového plánu ČEZ, a.s. Vodní elektrárny Štěchovice, provoz Dalešice. Pro vodní dílo jsou předepsány tři stupně povodňové aktivity, přičemž při postupném dosažení jednotlivých stupňů postupuje obsluha dle uvedeného povodňového plánu. Čerpací stanice průmyslové vody by nebyla ohrožena ani v případě tisíciletého průtoku (Q1000) na řece Jihlavě, na jehož převedení je VD Dalešice projektováno.

Vlivy místních intenzivních srážek - při hodnocení vlivu přívalového deště lze vycházet z kumulativního nahromadění celého srážkového množství uvnitř STP EDU1-4 a z výškového zaměření a cest uvnitř STP EDU1-4. Z hodnocení vyplývá, že při extrémní jednodenní srážce by mohlo za určitých podmínek dojít k vytvoření souvislé vrstvy vody o výšce 125 mm a voda by tak mohla proniknout do strojoven hlavních výrobních bloků a do objektu BAPPII. V obou případech je nutné zajistit v případě přívalového deště mechanickou zábranu pro utěsnění spár mezi podlahou a vraty.

Vlastní odvodnění elektrárny je řešeno oddělenou kanalizační soustavou. Odtok srážkových vod je zajištěn systémem dešťové kanalizace gravitačním způsobem z plochy cca 80 ha. Do systému dešťové kanalizace jsou v konečné fázi zaústěny i průmyslová kanalizace speciální, vyčištěné odpadní vody z průmyslové kanalizace zaolejované a přepady vody z chladících okruhů. Kapacita dešťové kanalizace je 3 810 l/s, přičemž dle hydrotechnických výpočtů je množství dešťových vod stanoveno

na $Q_{déšť}$ = 3 028 l/s. Zatopení objektů důležitých pro bezpečnost EDU1-4 z gravitačního systému dešťové kanalizace při pravidelné údržbě této kanalizační sítě není možné. I při výskytu teoreticky možných kratších srážek s vyšší intenzitou je celý systém schopen odvést tyto srážky vzhledem k velkému objemu stok a krátké době trvání těchto intenzivních srážek.

Možná selhání přehrad vyvolaná seismicitou - vodní dílo je postaveno v lokalitě s minimálními seismickými účinky, prolomení hráze vlivem zemětřesení je značně nepravděpodobné. Navíc bylo prokázáno, že ani hypotetická průlomová vlna z vodního díla Dalešice (vzdáleného od EDU1-4 4 km proti proudu řeky) neohrožuje důležité objekty z hlediska jaderné bezpečnosti vzhledem k jejich výškovému umístění. Došlo by však k zaplavení a vyřazení ČSJ z provozu. Se zaplavením a vyřazením z provozu ČSJ souvisí zajištění zásoby vody pro odstavení a dochlazení bloků. Zásoba vody v STP EDU1-4 pro normální plynulé odstavení do studeného stavu a provoz ve studeném stavu je dostatečná na dobu cca 793 hodin (33 dní).

Pravděpodobné maximální zátopy od vzdutí a houpání hladin - jevy, jejichž vlivy a účinky by měly být v této části posouzeny, tj. hurikány nebo cyklonové bouře se v regionu nevyskytují. Z extrémních meteorologických jevů v rámci celé ČR nelze zcela vyloučit možnost vzniku slabého tornáda, avšak jeho výskyt je ve sledované lokalitě velmi málo pravděpodobný a z hlediska obsahu této části není důvod se důsledky jeho hodnocení zabývat.

Zátopy od pravděpodobných maximálních tsunami - tato část by se měla zabývat důsledkem přílivové vlny do lokality v blízkosti pobřeží. Vzhledem k lokalizaci EDU1-4 a povětrnostním podmínkám popsaným v předchozích kapitolách, není tento jev v zájmové oblasti uvažován.

Vliv ledu - ve vodohospodářských objektech s volnou hladinou vody v STP EDU1-4 nemůže vlivem extrémně nízkých teplot dojít ke vzniku takového množství ledu, které by ohrožovalo jejich provoz, protože provozní odpadní vody, které tečou kanalizačním systémem elektrárny, jako nátok na čistírnu splaškových odpadních vod i průmyslových odpadních vod jsou natolik oteplené, že vzniku extrémního množství ledu zabrání. Kromě toho jsou uvedené objekty lokalizovány níže než hlavní výrobní objekty, které případným vznikem ledu nemůžou být ohroženy.

2.5.2.9 Zvážení nízkého stavu vody

Vodohospodářským řešením VD Dalešice je eliminováno nebezpečí ohrožení provozu elektrárny z titulu nízkých vodních stavů a malých průtoků. Umístěním odběru vody pro EDU1-4 do vyrovnávací nádrže Mohelno je zabezpečeno potřebné množství vody dotací z prostoru vodní nádrže Dalešice i při nízkých průtocích v řece Jihlavě. Z uvedeného vyplývá, že při běžném provozu nedojde ani při nízkých průtocích k poklesu hladiny ve VN Mohelno pod minimální provozní.

Pokud klesne hladina v nádrži pod minimální, není čerpací stanice schopná dodávat vodu a dojde k jejímu odstavení. Při ztrátě provozuschopnosti Čerpací stanice Jihlava (ČSJ) se provoz EDU1-4 řídí podle předpisu pro čerpací stanici pro dodávku průmyslové vody. Výpadkem ČS Jihlava, a tím i ztrátou přívodu surové vody do elektrárny se zabývá kapitola 3.12 této zprávy.

2.5.3 Výsledky hodnocení

Na základě hydrologických podkladů a jejich hodnocení podle relevantních kritérií a požadavků lze konstatovat:

- v oblasti rizik zaplavení pozemků s objekty, systémy a komponentami důležitými z hlediska jaderné bezpečnosti nebyl zjištěny střety s kritérii dle vyhlášky SÚJB č. 215/1997 Sb. o kritériích na umísťování jaderných zařízeníError: Reference source not found. STP EDU1-4 není ohrožen zaplavením z místních vodotečí, ani povodňovými stavy na řece Jihlavě,
- na základě posouzení a řešení systému zásobování přídavnou vodou pro EDU1-4 podle požadavků standardu IAEA NS-R-3 Site Evaluation for Nuclear Instalation, Safety Requirements (2003) byla určena jako návrhová událost porušení hráze

vodní nádrže Dalešice. Při této zvláštní povodni dojde k vyřazení ČSJ z provozu, což bude vyžadovat odstavení a provozovaných bloků EDU1-4. V tomto stavu bloky EDU1-4 setrvají do doby obnovení provozu ČSJ. Zásoba vody v STP EDU1-4 pro normální plynulé odstavení do studeného stavu a provoz ve studeném stavu na dobu cca 793 hodin (33 dní).

- podle výsledků posouzení záplav od extrémních srážek dle požadavku standardu IAEA NS-R-3 jsou objekty EDU1-4 projektovány jako odolné proti zaplavení při extrémní dešťové srážce, kdy by byl kanalizační systém zcela vyřazen z činnosti. Dokonce ani hypotetický případ, kdy by veškeré srážky vůbec neodtékaly do níže položených míst v okolí EDU1-4 a vytvořily souvislou hladinu překračující původní maximální projektovou hodnotu 125 mm, nemá charakter hraničních podmínek, neboť pata většiny objektů s důležitým bezpečnostním zařízením je umístěna ještě výše nad okolní terén (např. přístavek superhavarijního napájení o 140 mm výše než okolní terén, objekty diesel generátorové stanice o 170 mm než okolní terén atd.) což představuje další minimální rezervu cca 20% oproti celkového úhrnu dešťových srážek za 24 hodin při 10 000letém maximu.

Lokalita nikdy nebyla a není ani v budoucnosti ohrožena zatopením z přírodních povodní. Vnitřní záplavy pro svůj lokální charakter a snadné zvládnutí neohrožují jadernou bezpečnost (abnormální stav v provozním předpisu) a jsou detailněji popsány v kapitole 3.4 této zprávy.

Z výše uvedených údajů vyplývá, že další požadavky na nouzový provoz (ve vztahu k potenciálnímu riziku vyplývajícímu z průchodu povodní na Jihlavě a dalších vodních tocích) není nutno specifikovat.

2.6 Geologické, geotechnické a seismické podmínky

2.6.1 Geomorfologické poměry

Dle geomorfologického členění (Demek, Mackovčín a kol., 2006) je území lokality EDU součástí východního okraje geomorfologické oblasti Českomoravské vrchoviny. Nižší jednotkou je geomorfologický celek Jevišovická pahorkatina a její podcelek Znojemská pahorkatina a okrsek Hrotovická pahorkatina.

Pro geomorfologickou stavbu širšího okolí EDU je charakteristický pozvolný sklon povrchu směrem k východu až jihovýchodu. Do takto skloněného povrchu jsou zahloubena údolí Oslavy s přítokem Chvojnicí, Jihlavy a Rokytné s přítoky Olešnou a Rouchovankou. Lokalita EDU se nachází na plochém hřbetu v nadmořské výšce okolo 390 m n. m. Hřbet je součástí Dukovanské elevace o délce cca 21 km a šířce až 6 km. Toto území představuje dle geomorfologického hodnocení úzký prvek peneplenizovaného povrchu na rozvodí mezi zaříznutými údolími Jihlavy a Rokytné.

2.6.2 Geologické poměry

2.6.2.1 Geologické poměry lokality

Z hlediska geologické stavby je lokalita součástí gföhlské jednotky moravského moldanubika. Gföhlská skupina je strukturně nejvyšší jednotkou moldanubika. Vyznačuje se velkou litologickou heterogenitou a přítomností těles vysokotlakých a vysokoteplotních plášťových hornin, granátických a spinelových peridotitů, eklogitů a skarnů, které jsou uzavírány jako budiny nebo větší tělesa uvnitř různých typů korových hornin - migmatitizovaných pararul, migmatitů, migmatitických gföhlských rul, ortorul a granulitů, které jsou převažujícími horninovými typy této jednotky.

Krystalinické podloží blízkého okolí EDU tvoří granulitová formace moravského moldanubika, ke které náleží zejména náměšťsko-krumlovské granulitové těleso, a rokytenské těleso gföhlských rul. Kromě granulitů a rul se v zájmovém území nachází těleso mohelenského serpentinitu s asociací ultrabazitů s gabroidy (peridotity, pyroxenity a různé eklogitové a gabroidní horniny).

Stávající jaderná elektrárna Dukovany se nachází v oblasti styku rokytenského tělesa s náměšťsko - krumlovským granulitovým masívem, přičemž kontakt probíhá generálně ve směru severoseverovýchod-jihojihozápad.

Podloží v lokalitě tvoří zejména páskované amfibolity a případně ruly. Tyto horniny jsou do hloubky dosahující až několika desítek metrů postiženy dlouhodobými procesy zvětrávání, místy s projevy alterace. Zvětráním jsou nejvíce postiženy ruly, méně amfibolity a nejméně pak vložky granulitů. Hloubka zvětrání je velmi rozdílná a její dosah výrazně ovlivňuje intenzita rozpukání masívu.

Z doby transgrese miocénního moře do nitra Českého masívu se v nadloží krystalinika zachovaly relikty sedimentů bývalých mořských zálivů. Jedná se převážně o písky proměnlivého zrnitostního složení, lokálně s polohami drobnozrnného štěrku. Písky se nepravidelně střídají s čočkami, proplástky až polohami jílů, nebo písčitého jílu. V horní části souvrství jsou ojediněle přítomny polohy jílovitých hlín písčitých s příměsí drobného štěrku a písčité jíly, lokálně s polohami drobnozrnného štěrku. V těsném okolí EDU byly tyto sedimenty ověřeny v mocnosti až 16 m, a to v jeho severní části, mimo oblast hlavních objektů EDU1-4.

Kvartérní pokryv je tvořen deluviálními hlinitými, písčitojílovitými uloženinami s proměnlivým obsahem úlomků podložních hornin, které byly většinou překryté vrstvou humusového horizontu. Tyto sedimenty jsou pleistocénního až holocenního stáří.

2.6.2.2 Geologická stavba

Na geologické stavbě areálu EDU se podílejí (od nejstarších a nejníže uložených vrstev po nejmladší):

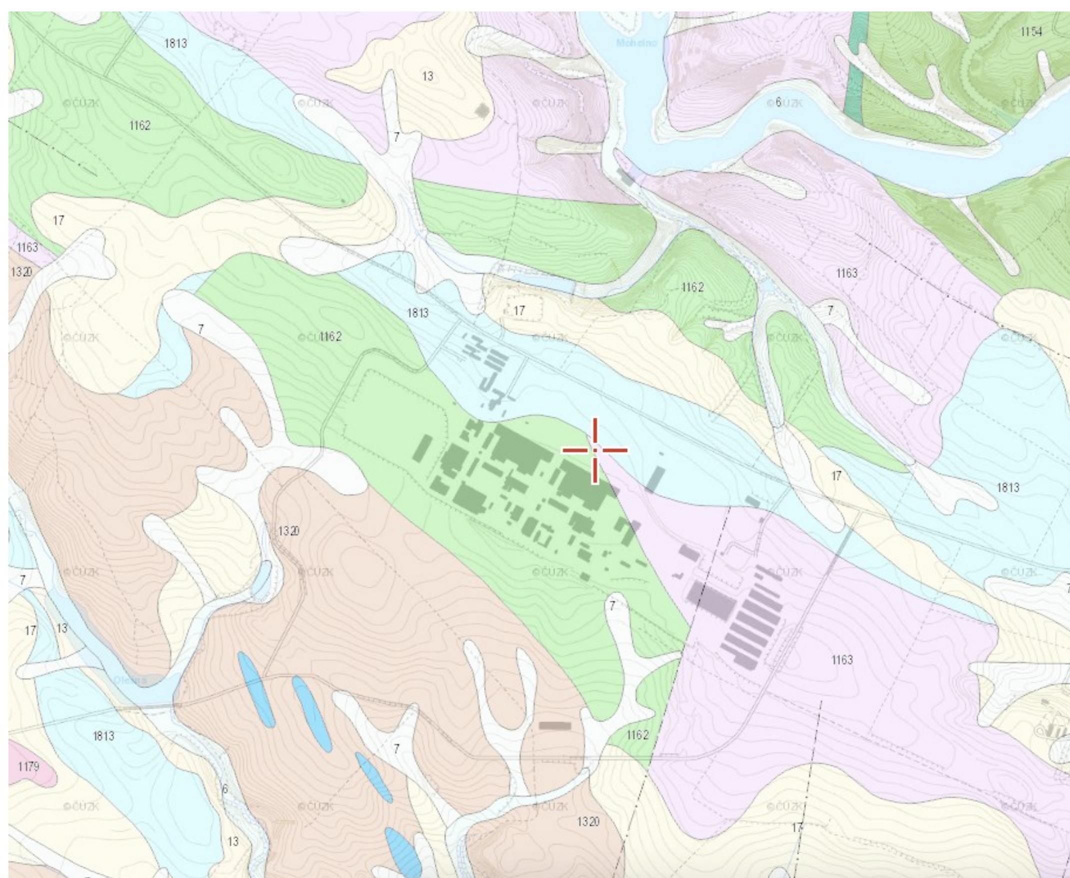
- krystalinické horniny moldanubika,
- sedimenty neogénu,
- kvartérní uloženiny.

Krystalické horniny moldanubika tvoří hlavní geologické podloží areálu EDU (viz Obr. 25) a reprezentují je tři hlavní horninové skupiny, ruly a jejich modifikace, amfibolity a příbuzné bazické horniny a granulity až granulitové ruly. Ve vrtných profilech byla identifikována amfibolová rula migmatitizovaná; biotitická (biotit-sillimanitická) rula; grafitická rula; granulitická rula; pyroxenická rula; biotitový rohovec.

Jednotlivé typy skalních hornin se na morfologii území prakticky neprojevují. Rozdíly ve vlastnostech hornin skalního podloží byly setřeny jejich hlubokým zvětráním již v období paleogénu a následným neogenním vývojem. Zvětrávacími procesy jsou nejvíce postiženy ruly, méně amfibolity a nejméně pak granulity. Hloubka zvětrání je velmi rozdílná a její dosah výrazně ovlivňuje intenzita rozpukání masívu.

Neogenní sedimenty tvoří písky proměnlivého zrnitostního složení. Nejčastěji se vyskytují písky různě zrněné, jemnozrnné až hrubozrnné se štěrkovými zrny (valounky o průměru 2 - 5 mm). Písky jsou velmi ulehlé, na bázi souvrství zvodněné. Písky se nepravidelně střídají s čočkami, proplástky popř. polohami jílů, písčitých až štěrkovitých jílů. Mocnost sedimentů neogénu se pohybuje převážně v rozpětí 1,2 - 8,0 m.

Kvartérní uloženiny jsou v daném území reprezentovány především deluviálními hlínami (spraš a sprašová hlína). Jedná se o prach, písčitý prach a jílovito-písčitý prach, tuhé až pevné konzistence. Často obsahují příměs úlomků o velikosti 1-3 cm tvořených navětralými až zvětralými minerály, případně štěrkovými valounky a úlomky vůči zvětrávacím procesům odolnějších hornin (migmatitizované ruly, granulity). Mocnost tohoto kvartérního pokryvu se pohybuje v rozpětí 0,2 - 4,6 m. Tyto sedimenty jsou pleistocénního až holocenního stáří.



Obr. 20. Geologická stavba areálu EDU a jeho okolí (zdroj: Česká geologická služba).

Legenda:

smíšený sediment [ID: 7]

Eratém: **kenozoikum**, Útvar: **kvartér**, Oddělení: **holocén**, Horniny: **sediment smíšený**, Typ hornin: **sediment nezpevněný**, Zrnitost: **jemnozrnná převážně**, Poznámka: **včetně výplavových kuželu**, Soustava: **Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity**, Oblast: **kvartér**

spraš a sprašová hlína [ID: 17]

Eratém: **kenozoikum**, Útvar: **kvartér**, Oddělení: **pleistocén**, Suboddělení: **pleistocén svrchní**, Horniny: **spraš, sprašová hlína**, Typ hornin: **sediment nezpevněný**, Mineralogické složení: **křemen + přímesi + $CaCO_3$**, Barva: **okrová**, Poznámka: **spraš navátá do vody**, Soustava: **Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity**, Oblast: **kvartér**

vápenec, erlan [ID: 1265]

Eratém: **paleozoikum až proterozoikum**, Poznámka: **paleozoikum - proterozoikum, archaikum**, Horniny: **vápenec, erlan**, Typ hornin: **metamorfit**, Soustava: **Český masiv - krystalinikum a prevariské paleozoikum**, Oblast: **moldanubická oblast (moldanubikum)**, Region: **metamorfní jednotky v moldanubiku**, Poznámka: **moldanubikum Českého lesa,šumavské,české,strážecké,moravské**

rula [ID: 1320]

Eratém: **paleozoikum až proterozoikum**, Poznámka: **paleozoikum - proterozoikum, archaikum**, Horniny: **rula**, Typ hornin: **metamorfit**, Mineralogické složení: **sillimanit biotit**, Poznámka: **perlová**, Soustava: **Český masiv - krystalinikum a prevariské paleozoikum**, Oblast: **moldanubická oblast (moldanubikum)**, Region: **metamorfní jednotky v moldanubiku**, Poznámka: **moldanubikum Českého lesa,šumavské,české,strážecké,moravské**

amfibolit [ID: 1162]

Eratém: **paleozoikum až proterozoikum** , Skupina: **gföhlská skupina**, Horniny: **amfibolit**, Typ hornin: **metamorfit**, Mineralogické složení: **granát pyroxen**, Poznámka: **lem tělesa Mohelno**, Soustava: **Český masiv - krystalinikum a prevariské paleozoikum**, Oblast: **moldanubická oblast (moldanubikum)**, Region: **metamorfní jednotky v moldanubiku**, Subjednotka: **gföhlská skupina**, Poznámka: **moldanubikum Českého lesa,šumavské,české,strážecké,moravské**

granulit [ID: 1163]

Eratém: **paleozoikum až proterozoikum** , Skupina: **gföhlská skupina**, Horniny: **granulit**, Typ hornin: **metamorfit**, Mineralogické složení: **granát biotit**, Barva: **leukokratní**, Poznámka: **často rekrystalovaný**, Soustava: **Český masiv - krystalinikum a prevariské paleozoikum**, Oblast: **moldanubická oblast (moldanubikum)**, Region: **metamorfní jednotky v moldanubiku**, Subjednotka: **gföhlská skupina**

migmatit až ortorula [ID: 1179]

Eratém: **paleozoikum až proterozoikum** , Skupina: **gföhlská skupina**, Horniny: **migmatit, ortorula**, Typ hornin: **metamorfit**, Barva: **leukokratní**, Poznámka: **nebulitického typu**, Soustava: **Český masiv - krystalinikum a prevariské paleozoikum**, Oblast: **moldanubická oblast (moldanubikum)**, Region: **metamorfní jednotky v moldanubiku**, Subjednotka: **gföhlská skupina**, Poznámka: **moldanubikum Českého lesa,šumavské,české,strážecké,moravské**

štěrky, písčité štěrky [ID: 1813]

Eratém: **kenozoikum**, Útvar: **neogén**, Oddělení: **miocén**, Poznámka: **v okolí Ivančic také miocén spodní, miocén střední**, Horniny: **štěrk**, Typ hornin: **sediment nezpevněný**, Poznámka: **písčitý**, Soustava: **Karpaty**, Oblast: **karpatská předhlubeň**

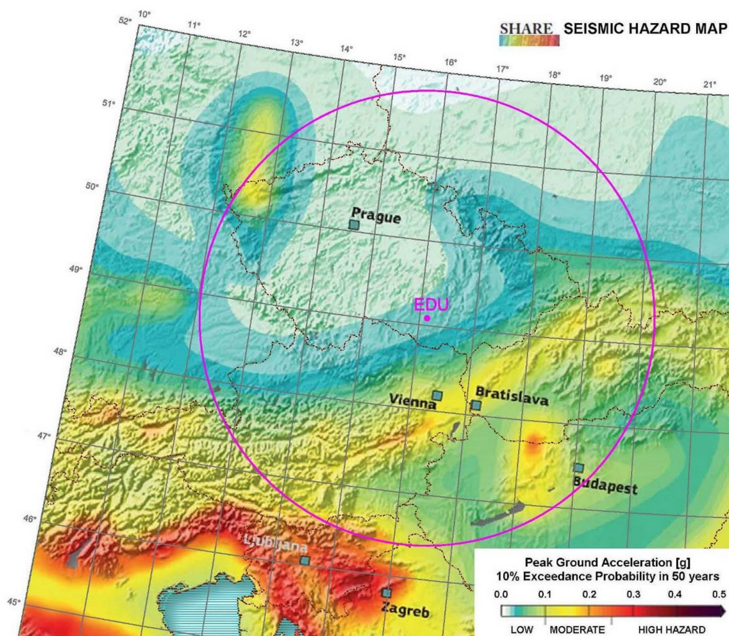
2.6.3 Seismicita, tektonika a geodynamické jevy

2.6.3.1 Seismicita

Český masiv je z hlediska seismicity součástí stabilního kontinentálního regionu (SCR) a je zároveň oblastí s nízkou úrovní seismicity. Nicméně v zájmovém území jsou pociťovány účinky vzdálených zemětřesení, jejichž ohniska se nacházejí ve východoalpské oblasti. Účinky velmi silných zemětřesení z této oblasti se dle mapy seismického rajónování mohou projevovat makroseismickou intenzitou stupně V-VII stupnice MSK-64 .

Pozice seismicky aktivních zlomů a s nimi spjatých ohnisek velmi silných zemětřesení v regionu EDU (oblast do vzdálenosti až 300 km od EDU) byla zohledněna v seismotektonickém modelu regionu EDU. Výsledkem pravděpodobnostního zhodnocení seismického ohrožení EDU, založeného na tomto modelu, jsou křivky seismického ohrožení. Seismické ohrožení je dáno v souladu s ustanovením článku 2.3 návodu IAEA NS-G-1.6 Seismic design and qualification for nuclear power plants (2003) jako velikost zrychlení kmitů půdy, která bude v rozmezí 10 000 let překročena s pravděpodobností 50 %. Pro EDU je tato hodnota rovna 47 cm/s^2.

V souladu s návodem IAEA SSG-9 Seismic hazards in site evaluation for nuclear installations (2010) a v souladu s předchozími návody IAEA je pro návrh bezpečnostně významných konstrukcí, systémů a komponent EDU 1-4 uvažována hodnota PGAH minimálně na úrovni 100 cm/s^2 tedy 0,1 g.



Obr. 21. Mapa seizmického ohrožení regionu EDU v hodnotách PGAH pro 90 % pravděpodobnost nepřekročení v časovém úseku 50 let, pro periodu návratu 475 let (Převzato z Evropské mapy seismického ohrožení, sestavené v rámci projektu SHARE).

2.6.3.2 Potenciál porušení povrchu území zlomy

Potenciál porušení povrchu území zlomy byl určen na základě rozsáhlého souboru průzkumných a analytických prací, a to jak v těsném okolí STP EDU1-4, tak na nejvýznamnějším zlomovém systému lokality EDU, struktuře Diendorf-Boskovice. V lokalitě EDU nebyly zjištěny struktury, které by mohly být označeny jako zlom potenciálně schopný posunu (capable fault).

2.6.4 Další geologická rizika

V lokalitě není ČGS - Geofondem ČR evidován výskyt sesuvů. V území se nenachází kras nebo horniny náchylné ke krasovatění. Též nebyl zjištěn výskyt postvulkanických jevů nebo vývěrů minerálních vod spojitelných s minulým vulkanismem.

Ve STP EDU1-4 nejsou, s ohledem na podloží tvořené skalními horninami s pokryvem z kamenitých eluvií, vytvořeny podmínky pro ztekucení zemin.

STP EDU1-4 a jeho nejbližší okolí není poddolováno, ani zde neprobíhaly činnosti vedoucí k subsidenci nebo deformaci povrchu území.

2.6.5 Podmínky pro rozptyl RA látek prostřednictvím podzemní vody

Nejbližší hydrogeologické rajóny v lokalitě nedisponují významnými zásobami podzemních vod, ani výskyty minerálních vod. Do užší oblasti zasahuje pouze hydrogeologický rajon 6550 Krystalinikum v povodí Jihlavy. Krystalinické horniny mají pouze malou puklinovou propustnost. Intenzívnější proudění podzemní vody se soustřeďuje do přípovrchové části horninového masívu s výskytem zvětralých a rozvolněných hornin, případně s nevýznamnými pokryvy mladších sedimentů – relikty málo propustných neogeénních sedimentů a kvartérní pokryv.

Relativně významnější kvartérní uloženiny se nacházejí pouze v údolí významnějších toků, kde však vzhledem k převažující odnosné činnosti tvoří jen nevýznamné akumulace údolních teras (v zaříznutých údolích Jihlavy, Rokytné, případně Olešné nebo Rouchovanky). Malé zvodnění horninového masívu je dáno i podprůměrným množstvím srážek v užší lokalitě, což se odráží i na nevelkých průtocích místních toků.

V podkladové studii VÚV TGM z roku 2015 byl vytvořen transportní model, který simuluje šíření radionuklidů ^{90}Sr, ^{137}Cs a ^{60}Co. Byly vytvořeny dva scénáře možného úniku radionuklidů: plošný a bodový. Dále je transport kontaminantů modelován ve dvou variantách: minimální varianta šíření kontaminantu, ve které je transport řízen rozpadem a sorpcí (reálná varianta) a maximální varianta šíření kontaminace, při které je transport řízen jen rozpadem. Transport látek z území STP EDU1-4 byl simulován pro časové období 1000 let při počáteční koncentraci radionuklidu 0,1 g.l^{-1}. Z 3-D transportních modelů založených na principu kontinuálního ekvivalentu pórového prostředí vyplývá, že potenciálně kontaminovaná oblast se bude nacházet jednak na severu, mezi vodní nádrží Mohelno a řekou Jihlavou a jednak na jihu, až po říčku Olešná. Podle 2-D koncepčních modelů proudění však může být potenciální rozsah této oblasti protažen také ve směru případného výskytu propustného tektonického systému až po oblast horních partií Dolnodubňanského potoka na jihovýchodě či po tok Rouchovanky na jihu.

2.6.6 Přirozená radioaktivita prostředí

Přirozená radioaktivita hornin je jednou z fyzikálních vlastností hornin, které obsahují přirozené radionuklidy, zejména ^{40}K a izotopy U a Th. Dalším zdrojem přirozené radioaktivity prostředí jsou produkty rozpadu přirozených radionuklidů, zejména radon, který je produktem radioaktivní přeměny běžně se vyskytujícího ^{238}U. Dávkové příkony záření gama závisí na typu hornin a v užší lokalitě se pohybují od 40 do 220 nGy.h^{-1}, přičemž nižší hodnoty jsou typické pro bazické horniny (amfibolity, serpentinity) a vyšší hodnoty pro rulové horniny (migmatity, ruly, granulity).

Radonové rizika na pozemcích EDU bylo hodnoceno na základě Mapy radonového rizika, která byla sestavena na základě výsledků radonového programu České republiky. Na této mapě je celá užší lokalita EDU1-4 zařazena do kategorie středního rizika.

Tab. 20. Klasifikace základových půd z hlediska radonového rizika.

Kategorie radonového rizika	Objemová aktivita radonu (kBq . m^{-3})		
	při propustnosti podloží		
	nízké	střední	vysoké
1. nízké	< 30	< 20	< 10
2. střední	30-100	20-70	10-30
3. vysoké	> 100	> 70	> 30

2.7 Radiační situace v lokalitě

2.7.1 Vymezení předmětu kapitoly

Kapitola obsahuje popis současné radiační situace v lokalitě a posouzení možnosti umístění a přijatelnosti provozu jaderného zdroje z hlediska radiačních vlivů na obyvatelstvo a životní prostředí.

2.7.2 Základní vstupní údaje pro hodnocení

2.7.2.1 Ozáření jedinců z kritické skupiny obyvatel

Za normálního a abnormálního provozu jaderné elektrárny neexistuje žádný jiný reálný způsob zvýšení radiační zátěže obyvatelstva, než výpustěmi radioaktivních látek do ovzduší a do vodotečí. Tento příspěvek k radiační zátěži je tak malý, že jej nelze přímým měřením v životním prostředí stanovit. Prakticky jediný možný způsob stanovení příspěvku radiační zátěže obyvatelstva v okolí vlivem provozu EDU1-4 je bilanční monitorování výpustí do ovzduší a do vodotečí a stanovení individuálních efektivních dávek (IED) modelovým výpočtem, který zahrnuje transport jednotlivých radionuklidů k člověku.

Bilancování ročních kapalných a plynných výpustí za účelem průkazu dodržení autorizovaného limitu úvazku efektivní dávky z výpustí do vodotečí a do ovzduší se v současnosti provádí výpočetním programem RDEDU, autorizovaným SÚJB.

Výpusti do vodotečí - vyhodnocení vlivu kapalných výpustí na okolí jaderné elektrárny je provedeno formou vyhodnocení efektivní dávky na jedince z kritické skupiny obyvatelstva, u něhož je konzervativně předpokládáno, že uspokojuje všechny potřeby v tekutinách vodou z řeky Jihlavy odebíranou pod výpustním profilem. Nejbližší osídlenou zónou a tudíž i zónou s největší možnou radiační zátěží z EDU1-4 je oblast Mohelno - Lhánice. Nejvyšší úvazek IED z výpustí do vodotečí vychází dlouhodobě pro věkovou skupinu 0 – 1 rok, v posledních 9 letech se pro tuto věkovou skupinu úvazek pohyboval od 1,27 do 2,914 µSv, přičemž jeho hodnota nezávisela ani tak na reálných výpustech z EDU1-4, které jsou v zásadě konstantní, ale především na průměrném ročním průtoku v řece Jihlava a úrovni ředění. Rozdíly mezi jednotlivými věkovými skupinami jsou rovněž malé na úrovni jednotek až desítek procent

Výpusti do ovzduší - za normálního provozu nejsou výpusti do ovzduší z jaderné elektrárny po jejich ředění v životním prostředí již měřitelné. Proto ocenění vlivu normálního provozu nelze provést bez bilančního měření výpusti a aplikace vhodného modelu šíření látek vypouštěných z JE do ovzduší. Vyhodnocení vlivu výpustí do ovzduší na okolí jaderné elektrárny je provedeno formou vyhodnocení efektivní dávky na jedince z kritické skupiny obyvatelstva, u něhož je konzervativně předpokládáno, že bude v dané oblasti žít následujících 50 let a konzumuje pouze lokální produkty. Nejvyšší úvazek IED z výpustí do ovzduší vychází dlouhodobě pro věkové skupiny 2 – 7 a 7 – 12 let, přičemž jeho hodnota se pro tyto skupiny pohybuje cca od 0,02 do 0,04 µSv. Podobně

jako pro výpusti do vodotečí jsou rozdíly v dávkách mezi jednotlivými věkovými skupinami malé.

Z uvedených hodnot vyplývá, že při uvádění radionuklidů do životního prostředí formou výpustí do vodotečí a do ovzduší jsou s rezervou dodržovány autorizované limity efektivní dávky a jejího úvazku pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatel 6 µSv pro výpusti do vodotečí a 40 µSv pro výpusti do ovzduší.

2.7.2.2 Model šíření RA látek v hydrosféře

Pro potřeby modelování transportu RA látek v hydrosféře byl vytvořen model pro disperzi radionuklidů v přehradních nádržích Dalešice a Mohelno, který je založen na derivaci rovnice pro koncentraci radionuklidů v kompletně promísené nádrži. Model vychází z předpokladu, že každá kapalná výpust z EDU1-4, která vtéká do nádrže, se v krátkém časovém intervalu kompletně promísí s vodou v přehradní nádrži, přičemž toto promísení může být výsledkem režimu přečerpávání větší části objemu spodní nádrže s horním rezervoárem. Vzhledem k tomu, že při provozu přečerpávací soustavy Dalešice - Mohelno je přečerpáváno zhruba 65 % objemu nádrže Mohelno, dochází v této nádrži k takovému proudění, které zajistí promísení vypouštěných radionuklidů v celém objemu nádrže. Výjimkou jsou pouze případy, kdy je přečerpávací soustava několik dní mimo provoz a kapalná výpusť zůstává v povrchové vrstvě, ze které voda na výtoku z nádrže Mohelno odtéká.

Dominantním radionuklidem uvolňovaným do životního prostředí formou kapalných výpustí, je tritium, které vzniká v primárním okruhu, a nelze jej žádným z existujících dostupných způsobů odstranit. Aktivační a štěpné produkty (AaŠP) se odstraňují v rámci systému čistění odpadních vod a proto je jejich podíl nízký. Většina z vytipovaných radionuklidů k monitorování je fakticky nedetekovatelná. Infiltrací vody z řeky jsou ovlivněny podzemní vody, převážně některé studny ležící v blízkosti řeky. Vzhledem k tomu, že některé z těchto studní jsou zdrojem vody pro veřejný vodovod Ivančicko (větev Ivančice a Moravské Bránice) je voda z tohoto vodovodu pravidelně monitorována. Aktivita tritia ve vzorcích vod z veřejného vodovodu je trvale pod směrnou hodnotou 100 Bq/l (vyhláška SÚJB č.307/2002 Sb. o radiační ochraně).

Schopnost povrchových vod koncentrovat radioaktivní látky, které jsou obsažené ve vodách, se váže k materiálům suspendovaným ve formě jemných písků, spraší, hlín a jílů, které se v řece Jihlavě vyskytují a dochází k jejich usazování na dně řeky a přehradních nádrží. Z modelu transportu radioaktivních látek v usazeninách vyplývá, že sediment se nedostane do větších vzdáleností od místa vypouštění, kde by se mohl kumulovat a představovat tak riziko pro okolí. Z měření je patrné, že jediným detekovatelným radionuklidem je Cs-137, které však nepochází z výpustí EDU1-4 do vodotečí, ale z globálního spadu.

2.7.2.3 Program monitorování okolí a výchozí měření radioaktivity

Radiační kontrola okolí EDU1-4 slouží ke kontrole dodržování povolených výpustí a k včasnému zjištění a zhodnocení případných úniků a jejich důsledků na obyvatelstvo v okolí pracoviště a na životní prostředí a za běžného provozu pro potvrzování bezpečnosti provozu ve vztahu k okolí.

Monitorování je prováděno sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a parametrů charakterizujících pole záření a výskyt umělých radionuklidů v životním prostředí v oblasti zóny havarijního plánování EDU1-4. Monitorování je prováděno dle schváleného monitorovacího programu radiační ochrany. Monitorování se provádí pro atmosférické spady, aerosoly a plynný radiojód, srážkové vody, povrchové vody, pitné vody, podzemní vody, mléko, příkon dávkového ekvivalentu záření gama, terénní spektrometrii gama, zemědělské plodiny, ryby, sedimenty a půdy. U všech kategorií se sleduje množství AaŠP pomocí polovodičové spektrometrie gama a u vod rovněž obsah tritia metodou kapalinové scintilační spektrometrie beta. V žádné z těchto oblastí nebyl zaznamenán žádný vliv provozu EDU1-4 na okolí s výjimkou zvýšeného

množství radionuklidu tritia v rámci povolených hodnot u povrchových, pitných a podzemních vod.

2.7.2.4 Atmosférický rozptyl vypuštěných radioaktivních látek

Na základě meteorologického průzkumu byly stanoveny základní charakteristiky meteorologické situace v lokalitě tak, aby mohl být vytvořen model šíření radioaktivních látek. Atmosférický rozptyl radioaktivních látek je uvažován v krátkodobém horizontu, pro odhad důsledků časově omezeného úniku při vzniku radiační nehody, a v dlouhodobém horizontu, kdy je cílem odhad důsledků výpustí radioaktivních látek do atmosféry za běžného provozu elektrárny.

Krátkodobé difúzní dopady - při krátkodobých difúzních odhadech se používají tzv. krátkodobé faktory zředění přízemní koncentrace, které umožňují velmi jednoduchý odhad objemových aktivit radionuklidů v různých vzdálenostech pod osou vlečky úniku. Pro stanovení krátkodobých faktorů zředění, které jsou základem pro krátkodobé difúzní odhady, se vychází z doporučení US RG 1.70 Standard Format and Content of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants. K mechanizmům, které byly uvažovány, patří disperze způsobená turbulencí vzdušných mas, suché vypadávání příměsí z vlečky, vymývání příměsí atmosférickými srážkami a odstranění škodlivin obsažených v dešťovém mraku. Pro stanovení krátkodobých difuzních odhadů je používán výpočetní program HAVAR-DET, který byl vyvinut a modifikován speciálně pro podmínky lokality a je používán též pro hodnocení radiačních důsledků událostí analyzovaných v bezpečnostních rozborech.

Dlouhodobé difúzní dopady - na rozdíl od krátkodobých difuzních odhadů úniků radionuklidů do atmosféry za různých modelových meteorologických situací vychází dlouhodobé difuzní odhady z dlouhodobé meteorologické statistiky a poskytují podklad pro informaci o nejpravděpodobnějším ovlivnění lokality plánovaným provozem jaderné elektrárny. Základem metodiky je modelování procesu šíření radioaktivních exhalací v ovzduší využívající reálné meteorologické situace během dlouhé periody výpustí, reliéfu a drsnosti terénu, tepelně-fyzikálních parametrů vypouštěných vzdušin a dalších lokálních charakteristik. Pro hodnocení dlouhodobých vlivů provozu jaderné elektrárny byly vypracovány programy NORMAL a RDEDU, které jsou verifikovány pro posuzování jaderné bezpečnosti podle směrnice SÚJB VDS 030.

2.7.3 Výsledky hodnocení

Na základě provedených rozborů a hodnocení radiační situace v lokalitě podle relevantních kritérií a požadavků lze konstatovat, že při provozu EDU1-4 nedochází k překročení autorizovaných limitů pro výpusti do vodotečí a do ovzduší stanovených rozhodnutím SÚJB čj. 12135/2007 a 12136/2007 a stanovených průměrných ročních efektivních dávek ozáření jednotlivců z kritické skupiny obyvatel a příslušné kritérium dle vyhlášky č. 215/1997 Sb. je dodrženo.

Radiační situace v lokalitě daná přirozenými vlivy i příčinkem stávajícího provozu EDU1-4 se nijak nevymyká dlouhodobému průměru na celém území ČR. Aktivity radionuklidů v jednotlivých složkách životního prostředí jsou v rozsahu běžném pro celé území státu. Mírné zvýšení koncentrace H-3 je možné detekovat v povrchových, pitných a podzemních vodách v blízkosti EDU1-4. Nicméně tyto nízké koncentrace z hlediska zdraví obyvatelstva nepředstavují zátěž vyžadující jakákoliv nápravná nebo regulační opatření. V lokalitě je rovněž detekován postupný pokles aktivity radionuklidů z globálního spadu, zejména z r. 1986.

Lokalita vyhovuje všem požadavkům vyhlášky č. 215/1997 Sb. o kritériích na umísťování jaderných zařízení a velmi významných zdrojů ionizujícího záření Error: Reference source not founda standardu IAEA NS-R-3 Site Evaluation for Nuclear Instalation, Safety Requirements (2003)Error: Reference source not found kladeným na radiační situaci v lokalitě.

2.8 Havarijní připravenost v lokalitě

2.8.1 Vymezení předmětu kapitoly

Kapitola obsahuje popis současného stavu zajištění havarijní připravenosti v lokalitě a posouzení, zda lze realizovat včasné zavedení a úplné uskutečnění všech neodkladných opatření pro ochranu obyvatelstva za podmínek radiační havárie jaderného zařízení, zejména vzhledem k rozložení obyvatelstva a přítomnosti sídelních útvarů nacházejících se v lokalitě.

Cílem havarijní připravenosti je zajistit, aby ani v případě radiační havárie dávky ionizujícího záření nepřekročily povolený limit pro obyvatelstvo, což znamená, že podmínky v lokalitě musí umožňovat včasné a úplné zavedení ochranných opatření k omezování ozáření osob a životního prostředí stanovených vyhláškou SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraněError: Reference source not found.

2.8.2 Základní vstupní údaje pro hodnocení

2.8.2.1 Výchozí informace

Posouzení podmínek v lokalitě z hlediska zajištění havarijní připravenosti vychází především z následujících zdrojů informací:

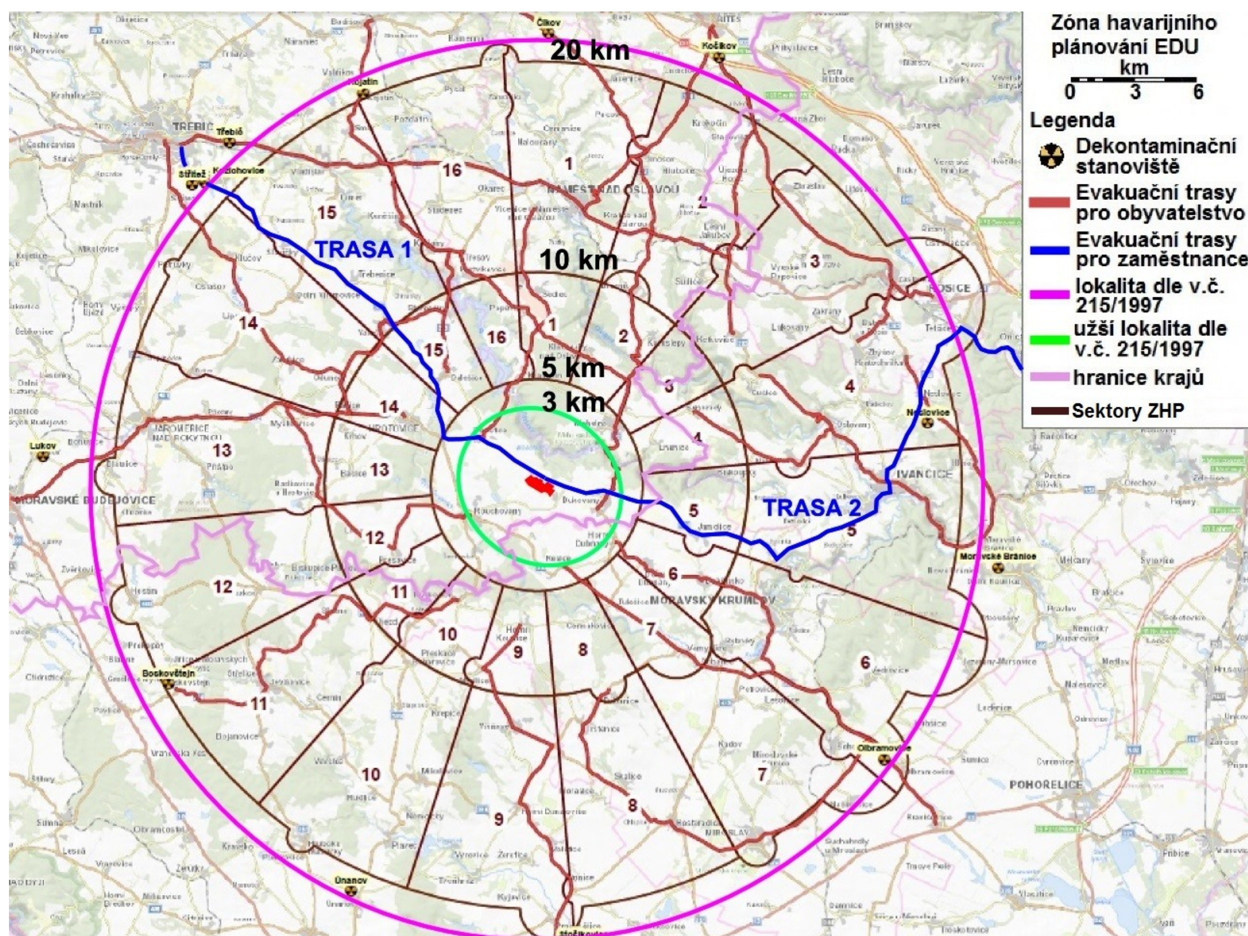
- Vnější havarijní plán pro zónu havarijního plánování Jaderné elektrárny Dukovany (VněHP EDU),
- informace o možných důsledcích radiačních havárií bloků EDU (PSA analýza hodnocení pravděpodobnosti výskytu těžké havárie na EDU viz kap. 19 této Zprávy)

2.8.2.2 Popis lokality a zóny havarijního plánování EDU

EDU leží cca 35 km na jihozápad od Brna na pravém břehu řeky Jihlavy mezi obcemi Rouchovany, Slavětice a Dukovany v jihovýchodní části Kraje Vysočina a spadá do správního obvodu OÚ ORP Třebíč.

Pro zajištění zavedení neodkladných ochranných opatření v jaderné elektrárně a okolí v případě vzniku radiační havárie na EDU je stanovena zóna havarijního plánování (ZHP) na základě Rozhodnutí SÚJB č. 180/1991 Sb.. Svými rozměry ZHP EDU přesahuje i do Jihomoravského kraje. Vnější ZHP je vymezena kružnicí o poloměru 20 km se středem mezi hlavními výrobními bloky EDU. U větších sídelních oblastí na hranici ZHP je tato zóna rozšířena, aby pokrývala celou příslušnou hraniční sídelní oblast.

V ZHP EDU žije přibližně 100 000 obyvatel. V průběhu dosavadního provozu se tento počet téměř nemění. Jedním z parametrů pro výběr lokality pro umístění EDU1-4 byla nízká hustota obyvatelstva v okolí do vzdálenosti 20 km, kde převažují malá venkovská sídla. Větší města leží mimo lokalitu a ZHP EDU.



Obr. 22. Zóna havarijního plánování EDU s vyznačením evakuačních tras.

2.8.2.3 Posouzení lokality z pohledu proveditelnosti ochranných opatření

Posouzení vhodnosti lokality EDU lze provést na základě schopnosti přijmout a provést všechna neodkladná opatření k ochraně obyvatelstva a personálu za podmínek radiační havárie jaderného zařízení. Cílem ochranných opatření je vyloučit nebo přinejmenším omezit ozáření personálu jaderné elektrárny a obyvatelstva. Ochranná opatření jsou zajišťována zejména pro případy vzniku mimořádných událostí, kde nelze vyloučit, že by bez jejich realizace byli zaměstnanci a obyvatelstvo vystaveni ozáření, které by vedlo k překročení referenčních úrovní stanovených vyhláškou SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně v platném znění. Neodkladná ochranná opatření k odvrácení nebo minimalizaci ozáření ionizujícím zářením jsou:

- ukrytí obyvatelstva a personálu EDU,
- jódová profylaxe obyvatelstva a personálu EDU,
- evakuace obyvatelstva a personálu EDU.

Varování obyvatelstva a personálu EDU - varování obyvatelstva v ZHP zabezpečuje Hasičský záchranný sbor Kraje Vysočina na základě pokynu z jaderné elektrárny pomocí sirén ovládaných prostřednictvím jednotného systému varování a dále zabezpečuje odvysílání příslušných rozhlasových a televizních relací u ČT a ČRo. Varování obyvatel v ZHP je zajištěno pomocí sirén, které jsou udržovány a servisovány provozovatelem jaderného zařízení, další alternativou jsou mobilní sirény a megafony. Popis činností a odpovědností pro zabezpečení včasného varování obyvatelstva je uveden ve VněHP EDU a Vnitřním havarijním plánu JE (VHP JE). Varování zaměstnanců a dalších osob nacházejících se v areálu EDU o vzniklé mimořádné události je zajištěno pomocí sirén, závodního rozhlasu a mobilních sirén. Popis činností a odpovědností pro zabezpečení včasného varování zaměstnanců a dalších osob nacházející se v areálu EDU je uveden ve VHP JE.

Jódová profylaxe obyvatelstva a personálu EDU - cílem jódové profylaxe je nasycení štítné žlázy neaktivním jódem, a tím se zabrání přístupu radioaktivnímu jódu, čímž se minimalizuje celková radiační zátěž personálu i obyvatelstva v lokalitě. Popis činností a odpovědností pro provedení jódové profylaxe obyvatelstva je uveden ve VněHP JE a pro provedení jódové profylaxe personálu ve VHP JE. Za distribuci a obměnu jódové profylaxe před exspirací v lokalitě EDU odpovídá provozovatel jaderného zařízení. V areálu EDU je zajištěna distribuce jódové profylaxe všem zaměstnancům a navíc je udržována 100% zásoba v místech ukrytí.

Proveditelnost evakuace - v případě vyhlášení evakuace elektrárny je hlavní evakuační trasou pro personál EDU komunikace II. třídy číslo 152. Evakuace obyvatelstva je řízena krizovým štábem příslušného kraje a je prováděna po stanovených, předem určených trasách na základě VněHP EDU.

V případě vyhlášení evakuace zaměstnanců JE a dalších osob nacházejících se v areálu je prostřednictvím OPIS HZS Kraje Vysočina informován krizový štáb kraje o zvolené evakuační trase, a to z důvodů zajištění jejich průjezdnosti a zabránění kolizí s případnými přesuny sil a prostředků podle VněHP EDU. Evakuační trasy pro personál jsou:

- komunikace II. třídy číslo 152, 351 po trase EDU, Slavětice, Dalešice, Valeč, Třebenice, Kožichovice, Třebíč.
- komunikace II. třídy číslo 152, 394 po trase EDU, Jamolice, Polánka, Ivančice, Neslovice, Tetčice, Střelice a dále po komunikacích mimo ZHP EDU do Třebíče

Pro případ výskytu extrémních klimatických podmínek (vichřice, sněhové, smíšené a mrznoucí srážky, extrémní teploty) během řešení mimořádné události na EDU požádá člen organizace havarijní odezvy prostřednictvím OPIS o přednostní zajištění zprůjezdnění evakuačních tras. Pro tento úkol může JE operativně poskytnout část techniky a směny HZSp. Případně může být prostřednictvím IZS vyžádána pomoc od AČR, která má nejbližší útvar přibližně 13 km od elektrárny.

V případě teroristické hrozby omezující hlavní nebo záložní vjezd do STP EDU, popřípadě omezení použití evakuačních tras během řešení mimořádné události v areálu EDU spolupracuje člen organizace havarijní odezvy s Policií ČR. Případně po dohodě s příslušným Krizovým štábem operativně mění evakuační trasu.

Pro případ kdy by zvolenou evakuační trasu jak pro zaměstnance, tak i pro obyvatele v lokalitě ohrožoval požár, byla by krizovým štábem příslušného kraje zvolena jiná bezpečná trasa. Povodněmi vzhledem k poloze nejsou evakuační trasy ohroženy.

Pokud by došlo k znemožnění použití hlavního vjezdu do střeženého prostoru vlivem seismické události, má pro tyto účely elektrárna zbudován záložní vjezd do areálu EDU. Pro případ poškození obou vjezdů do střeženého prostoru vlivem seismické události je HZSp v lokalitě vybaven těžkou technikou, která slouží k odklízení trosek, a tím i zpřístupnění evakuačních tras z areálu EDU.

2.8.2.4 Zavedení ochranných opatření v lokalitě

Na území Kraje Vysočina a Jihomoravského kraje, kde se lokalita nachází, je havarijní připravenost zajišťována prostřednictvím VněHP EDU, který je zpracován podle vyhlášky č. 328/2001 Sb. o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému, v souladu se zákonem č. 239/2000 Sb. Error: Reference source not found, zákona č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a dalších právních předpisů.

Základním mechanismem havarijní připravenosti je soubor činností vedoucích k omezení í ozáření osob při radiačních haváriích, např. aplikace tzv. ochranných opatření.

Ochranná opatření jsou tato:

- neodkladná ochranná opatření zahrnující ukrytí osob, jódovou profylaxi a evakuaci,

- následná ochranná opatření zahrnující přesídlení, regulaci požívání radionuklidy znečištěných potravin a vody a regulaci používání radionuklidy znečištěných krmiv.

Zavádění ochranných opatření se zvažuje v případech, kdy provedené prognózy radiologických dopadů a výsledky monitorování signalizují, že u části obyvatelstva může dojít k překročení směrných hodnot ozáření stanovených vyhláškou č. 307/2002 Sb. o radiační ochraněError: Reference source not found nebo k nim již došlo.

VněHP EDU obsahuje mimo jiné plán varování obyvatelstva, plán ukrytí obyvatelstva, plán jódové profylaxe a individuální ochrany obyvatelstva a plán evakuace obyvatelstva.

2.8.3 Výsledky hodnocení

Na základě hodnocení podmínek pro havarijní připravenost v lokalitě podle relevantních kritérií a požadavků lze konstatovat následující: V lokalitě lze realizovat včasné zavedení a úplné uskutečnění všech neodkladných opatření pro ochranu obyvatelstva za podmínek radiační havárie zařízení, zejména vzhledem k rozložení obyvatelstva a stávající infrastruktuře.

2.9 Posouzení lokality podle kritérií pro umisťování jaderných zařízení

Předmětem této kapitoly je celkové posouzení vlastností lokality z hledisek vymezených kritérii pro umísťování jaderných zařízení a velmi významných zdrojů ionizujícího záření (§ 4 a § 5 vyhlášky SÚJB č. 215/1997 Sb. o kritériích na umísťování jaderných zařízení).

V § 4 jsou uvedena vylučující kritéria, která jednoznačně znemožňují využití území pro umísťování jaderného zařízení. Na základě provedeného hodnocení lokality popsaného v PpBZ EDU1-4 lze jednoznačně říci, že lokalita vyhovuje všem požadavkům dle § 4 vyhlášky č. 215/1997 Sb.

Dále jsou v § 5 uvedeny podmiňující kritéria, která umožňují využít území či pozemku pro umísťování jaderného zařízení za předpokladu, že je možné nebo dostupné technické vyřešení nepříznivých územních podmínek. Z provedeného hodnocení vyplývá, že lokalita vyhovuje všem požadavkům kritérií § 5 vyhlášky č. 215/1997 Sb., přičemž ve většině případů není nutné žádné technické opatření a tam kde nutné je, jsou veškerá opatření technicky realizovatelná.

2.10 Projektová východiska vyplývající z hodnocení lokality

2.10.1 Vymezení předmětu kapitoly

Předmětem této kapitoly je rekapitulace závěrů vyplývajících z hodnocení externích událostí lokality podle požadavků uvedených ve standardu IAEA NS-R-3 Site Evaluation for Nuclear Instalation (2003). Osnova rekapitulace byla zvolena s přihlédnutím k logickému členění požadavků standardu IAEA NS-R-3 v kapitole 3. Specific Requirements for Evaluation of External Events.

2.10.2 Zemětřesení a potenciál porušení povrchu území zlomy

Zemětřesení - vyhodnocení výskytu zemětřesení v regionu EDU bylo provedeno v souladu se standardem NS-R-3. O region EDU byly sestaveny katalogy prehistorických, historických a instrumentálně zaznamenaných jevů a dále lokální katalog EDU zahrnující též mikrozemětřesení. Seismické ohrožení EDU bylo stanoveno pomocí pravděpodobnostního přístupu. Údaje o zemětřeseních a další poznatky byl zpracovány do 3 seismotektonických modelů. Vypočtené hodnoty SL1 = 0.028 g a SL2 = 0.047 g jsou v souladu s předchozími studiemi a potvrzují seismické zadání EDU.

Potenciál porušení povrchu území zlomy - potenciál porušení povrchu území zlomy byl určen na základě rozsáhlého souboru průzkumných a analytických prací, a to

jak v těsném okolí STP EDU1-4, tak na nejvýznamnějším zlomovém systému lokality EDU, struktuře Diendorf-Boskovice. V lokalitě EDU nebyly zjištěny struktury, které by mohly být označeny jako zlom potenciálně schopný posunu (capable fault).

2.10.3 Meteorologické podmínky

Extrémní meteorologické jevy a výjimečně se vyskytující meteorologické jevy vyjmenované v požadavku IAEA NS-R-3 Site Evaluation for Nuclear Instalation, 2003, byly analyzovány v souladu se standardem IAEA NS-G-3.4 Meteorological Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, 2003 a IAEA SSG-18 Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, 2011 a na základě řad naměřených na meteorologické observatoři ČHMÚ Dukovany a dalších stanicích s porovnatelnými meteorologickými podmínkami v okolí.

2.10.3.1 Extrémní hodnoty meteorologických jevů

Extrémní hodnoty meteorologických jevů, o kterých se očekává, že nebudou překročeny v průběhu referenčního období (doba opakování) používaného pro konkrétní meteorologický jev jsou uvedeny v následujících tabulkách. Tyto hodnoty jsou doporučeny jako projektový základ pro návrh a ověření návrhu projektového řešení položek důležitých pro bezpečnost EDU1-4 (konstrukce, systémy a komponenty), které těmto podmínkám nohou být vystaveny.

Teplota

Tab. 21. Doporučené hodnoty maximálních a minimálních teplot

Doporučené odhady teploty (°C)	Metoda stanovení	Doba opakování		Předpoklad do roku 2030
		100 let	10000 let	
Maximální okamžitá teplota	Gumbel (MLE)	40,5	49	do 42
Maximální 6 hodinový průměr	Gumbel (MLE)	38,8	46,3	do 40
Maximální 24 hodinový průměr*	Gumbel (MLE)	31,8	37,8	34
Maximální 7 denní průměr*	Gumbel (LM)	28,7	34,8	do 32
Minimální okamžitá teplota	Gumbel (MLE)	-31,7	-47,9	-36
Minimální 6 hodinový průměr*	Gumbel (LM)	-27,1	-41,4	-32
Minimální 24 hodinový průměr	Gumbel (MLE)	-23,9	-37,3	-26
Minimální 7 denní průměr	Gumbel (MLE)	-19,0	-30,9	-23

Rychlost větru

Tab. 22. Doporučené hodnoty 1s a 10s a 10min zatížení větrem (m/s)

Doba opakování	100 let	10 000 let
Náraz větru 1 s (m/s)	46,5	63,4
Náraz větru 10 s (m/s)	37,7	51,4
Desetiminutová střední rychlost (m/s)	26	35,4

Srážky

Tab. 23. Doporučené hodnoty přívalových srážek pro dobu opakování 100 roků

Úhrn/čas	Metoda stanovení	Doba opakování 100 roků	Doba opakování 10 000 roků
mm/15min	Kvantil log normálního rozložení (100 roků), Gumbel (10 000 roků)	31,0	54,0
mm/3hod	Gumbel	55,0	92,0
mm/6hod	Gumbel	67,0	114,0
mm/24hod	Gumbel	77,0	125,0

Sněhové poměry

Tab. 24. Doporučené hodnoty vodní hodnoty sněhu (výška vodního sloupce v mm) pro dobu opakování 100 a 10 000 roků

Doba opakování	Metoda stanovení	100 let	1000 let	10000 let
vodní hodnota sněhu (mm vodního sloupce)	Gumbel MLE	117,7	162,2	206,7

Přílivová bouře - protože se v blízkém okolí EDU1-4 nenachází žádné moře ani rozlehlé vodní plochy nemůže tento jev EDU1-4 ohrozit a tato zpráva se tímto jevem nezabývá.

2.10.3.2 Ojedinělé meteorologické události

Blesky - roční průměrný počet dní s bouřkou přibližně koresponduje s průměrným ročním počtem dnů s výskytem alespoň 2 blesků do země pro okolí 10 a 15 km.

Při výskytu blesku na území střední Evropy lze očekávat výboje typu mrak - zem mezi 10 až 15 výboji na čtvereční kilometr za rok neboli jeden výboj za 10 let pro oblast vymezenou okruhem 100 m. Přitom pouze pro 1 % z těchto výbojů typu mrak - zem proud výboje dosáhne nebo přesáhne 200 kA.

Tornáda - výskyt tornád byl vyhodnocen na základě historických dat za posledních 1000 let a podrobných přístrojových měření v daném regionu za celé období provozu jednotlivých stanic. Pro vlastní vyhodnocení byla zpracována tornáda z části území ČR o rozloze 53 000 km^2. Návrhové parametry tornáda pro lokalitu EDU jsou porovnatelné s parametry tornáda stanoveného pro region III v předpisu US NRC RG 1.76. Vzhledem k tomu, že pro lokalitu je pro analýzy použito jako referenční letadlo o hmotnosti 2000 kg při dopadu 100 $m.s^{-1}$ a bezpečnostně významné konstrukce, systémy a komponenty jsou odolné vůči jeho účinkům, lze s rezervou předpokládat jejich odolnost i vůči účinkům letících předmětů generovaných tornádem. Co se týče tlakových účinků tornád je tornádo F1až F2 nahrazeno vichřicí o maximální rychlosti větru definovanou výše.

Tropické cyklony - ve střední Evropě se tento jev nevyskytuje, protože v průběhu svého života se tropická cyklona postupně transformuje v mírných šířkách na mimotropickou cyklonu, což je na území ČR jev zcela běžný a jeho projevy jsou zahrnuty v popisovaných meteorologických jevech jako kombinace silného větru a intenzivních srážek.

2.10.4 Záplavy

2.10.4.1 Záplavy způsobené dešťovými nebo sněhovými srážkami a jinými příčinami

Za velmi konzervativního předpokladu úplného selhání funkce dešťové kanalizace se vytvoří na sledovaných plochách souvislá vrstvy vody o výšce 125 mm v důsledku jednodenního maximálního srážkového úhrnu s dobou opakování 10 000 let. Případný nevýznamný průsak vody do místností sledovaných objektů (např. při netěsnosti vstupních dveří) neovlivní bezpečnost vybraných systémů a zařízení situovaných v těchto objektech.

2.10.4.2 Záplavové vlny způsobené zemětřesením nebo jiným geologickými příčinami

V daných geografických a klimatických podmínkách Střední Evropy neexistuje o tsunami historický záznam a není ani předpoklad pro vznik vlny tsunami. Vznik vln typu seiche nebyl na ČR pozorován. V lokalitě není v nadmořské výšce blízké umístění EDU1-4 dostatečně rozměrná vodní plocha, na které by zemětřesení mohlo vlnu seiche vytvořit.

2.10.4.3 Záplavy a vlny způsobené poškozením nebo poruchou vodohospodářských staveb

Záplava následující po porušení hráze vodní nádrže Dalešice nad odběrovým objektem čerpací stanice Jihlava (ČSJ) v nádrži Mohelno způsobí zaplavení a vyřazení ČSJ z provozu. Nezaplaví však výrobní objekty a objekty důležité pro jadernou bezpečnost nalézající se nejméně 50,6 m výše než hypotetickou záplavou dotčený břeh řeky s ČSJ v nádrži Mohelno. Se zaplavením a vyřazením z provozu ČSJ souvisí zajištění zásoby vody pro odstavení a dochlazení bloků. Zásoba vody v STP EDU1-4 pro normální plynulé odstavení do studeného stavu a provoz ve studeném stavu je dostatečná na dobu cca 793 hodin (33 dní).

2.10.5 Geotechnické hazardy

Svahové nestability - na základě analýzy topografických podkladů a výsledků provedené terénní rekognoskace lze konstatovat, že ve STP EDU1-4 a v jeho těsném okolí se nenachází žádný potenciálně nebezpečný svah ve smyslu standardu IAEA NS-R-3 Site Evaluation for Nuclear Instalation (2003) a návodu IAEA NS-G-3.6 Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants (2004).

Propad, pokles nebo vzdutí půdy - na základě provedených hodnocení lze konstatovat, že plocha STP EDU1-4 není ohrožena jevy, jak přírodními, tak antropogenně podmíněnými, které by mohly způsobit propad, deformaci nebo pozvednutí povrchu území v rozsahu, který by ohrožoval stabilitu hodnoceného území.

Ztekucení zemin - z parametrů zemin zjištěných v oblastech průzkumu území STP EDU1-4 vyplývá, že se nejedná o zeminy, jejichž vlastnosti by mohly indikovat náchylnost ke ztekucení.

Chování základových materiálů a podzemní vody - chování podpovrchových materiálů bylo zhodnoceno před výstavbou EDU1-4 a poznatky byly shrnuty v geotechnickém zadání stavby. Dále byly doplněny o nová data a výsledky měření novými, tehdy nedostupnými metodami. Lze konstatovat, že výsledky nových měření se pohybují v rozmezích původních dat, tedy potvrzují jejich věrohodnost. Výsledky chemických analýz, původní i kontrolní, dokládají, že podzemní voda na území STP EDU1-4 je prostředím neagresivním.

2.10.6 Externí vlivy vyvolané člověkem

2.10.6.1 Pád letadla

Z hlediska bezpečnosti EDU1-4 je významná skutečnost, že zakázaný prostor elektrárny LK P9 leží uvnitř MCTR Letiště Náměšť, tedy uvnitř řízeného letového prostoru třídy D, který zahrnuje rozsáhlou oblast a sahá až k úrovni terénu. Pro hodnocení vlivu letového provozu na elektrárnu má největší význam právě provoz na tomto letišti.

Z analýzy četnosti nehod různých kategorií letadel na území České republiky a velikosti efektivní plochy objektu EDU1-4 vyplývá, že pravděpodobnost havárie letadla s interakcí s EDU1-4 dosahuje celkové hodnoty 2,56E-07/rok, čímž je překročeno podmiňující kritérium 1E-07/rok v. č. 215/1997. Je tudíž nutné definovat referenčního letadlo, jehož pád musí EDU1-4 přestát. Na základě analýzy bylo jako referenční letadlo stanoveno letadlo typu Cessna 210, spadající do kategorie CIV o hmotnosti 2000 kg. Pro analýzy je uvažována rychlost při dopadu 100 $m.s^{-1}$. Průkazy odolnosti EDU1-4 proti pádu návrhového letadla jsou shrnuty v kapitole 3.5 této zprávy.

2.10.6.2 Chemické exploze

Ve vymezeném pásmu SDV (10km od STP EDU1-4) bylo zjištěno 15 externích zdrojů událostí, které mohou vést ke 47 zdrojům rizika pro EDU1-4. Z podrobného hodnocení vyplývá, že významný může být externí stacionární zdroj rizika - nátěrové hmoty produkující při požáru HCN v lokalitě Heřmanice v bezprostředním sousedství STP EDU1-4, což vyplývá z možného pronikání toxického oblaku při požáru v hale s nátěrovými hmotami do přívodů ventilace dozoren. Zbývající zdroje rizika jsou dle provedeného hodnocení zanedbatelné.

Identifikovaný zdroj rizik by mohl způsobit nárůst koncentrací toxických plynů v blokové dozorně 4. bloku na nebezpečné hodnoty. Proto pro případ vzniku požáru v skladu nátěrových hmot bylo přijato organizační opatření a to zapracování instrukce do požární karty skladu informovat obsluhu 4. bloku při zjištění požáru v areálu skladu Heřmanice. Odpovídající reakcí na detekci požáru v skladu by byl automatický (od signalizace kouře) nebo ruční přechod ventilace do režimu izolace, nebo vypnutí ventilace dozorny 4. bloku, popřípadě použití dýchacích přístrojů obsluhou dozorny a v případě neobyvatelnosti blokové dozorny, přesun obsluhy na dozornu nouzovou.

2.10.6.3 Další důležité externí vlivy způsobené člověkem

Deflagrace a detonace způsobené plynovodem - pásmo SDV protíná ve vzdálenosti cca 9,5 km jižně od STP EDU1-4 jižní větev tranzitního plynovodu. Jedná se o

koridor se 3 vysokotlakými plynovody (parametry potrubí - DN 800 PN 75, 1000 PN 75, 1400 PN 75) přepravujícími zemní plyn. Analýzy uvážily rovněž přítomnost středotlakých potrubí zemního plynu o max. průměru DN 160 dosahujících z vnějšku až na hranice pásma SDV, a dále vysokotlakých potrubních přivaděčů o max. průměru DN 100 na lokalitách Mohelno, Hrotovice, Dalešice a Slavětice. Do STP EDU1-4 nejsou zavedeny žádné přípojky plynu.

Všechny z těchto tří typů potrubí byly oceněny možnosti požáru, exploze oblaku, šíření oblaku. Tato ocenění ve všech případech zdrojů rizik ukázala zanedbatelnost vlivu na EDU1-4. Není tudíž důvod k jejich podrobnějšímu ocenění.

2.10.6.4 Elektromagnetická interference

Měření ukázalo, že intenzita vnějších elektromagnetických polí dosahuje velmi nízkých hodnot a pro instalovaná zařízení nepředstavuje významný vnější zdroj elektromagnetického pole. V blízkosti STP EDU1-4 nejsou rozlehlé energetické ani jiné (např. dopravní) stejnosměrné instalace. Proto je v této lokalitě riziko vzniku zemních bludných proudů zanedbatelné.

2.10.6.5 Zablokování vstupů vzduchu, vody a podobně

Vzhledem k tomu, že nelze vyloučit událost spočívající v přemístění rozměrných předmětů deskovitého tvaru (např. plechová střecha, reklamní tabule) nebo plachet extrémním větrem nebo tornádem, a jejich zachycení na vstupech nebo výstupech vzduchotechnického systému jsou opatření proti této události běžnou součástí projektu vzduchotechnických systémů důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti. Vzduchotechnické systémy EDU1-4 jsou prostorově odděleny a v projektu je uplatněn princip diverzity. Stejně tak je zajištěna ochrana proti současnému zablokování vstupů bezpečnostních systémů sněhem.

3 Konstrukce staveb, konstrukcí, zařízení a systémů

3.1 Soulad s obecnými návrhovými kritérii státního dozoru

Z hlediska návrhových kritérii státního dozoru je klíčová Vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. ze dne 21. srpna 1999 o požadavcích na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti, která nahradila starší legislativní dokument Výnos 2 ČSKAE z roku 1978, podle kterého byl zpracován Úvodní projekt JE Dukovany a podle kterého byla JE Dukovany hodnocena před uvedením do provozu. Vyhláška SÚJB č.195/1999 Sb. o požadavcích na jaderná zařízení, obsahuje všeobecná ustanovení a požadavky na řešení jaderných zařízení:

1. Všeobecná ustanovení
2. Základní požadavky na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti
3. Aktivní zóna reaktoru
4. Řídicí a ochranné systémy
5. Systémy chlazení reaktoru
6. Energetické napájecí systémy
7. Systém ochranné obálky
8. Radiační ochrana
9. Manipulace s jaderným palivem a jeho skladování

Mezi základní požadavky na jaderná zařízení patří požadavky na jadernou bezpečnost, ochranu do hloubky, požadavky na jakost, požadavky na radiační ochranu (RO), havarijní připravenost (HP), požární ochranu (PO) a fyzickou ochranu (FO), požadavky na ochranu proti poruchám zařízení a proti jevům vyvolaným přírodními podmínkami nebo lidskou činností i požadavky na odvod tepla a společné užívání zařízení. Podrobné hodnocení odolnosti zařízení vůči těmto požadavkům a podrobné

informace o jednotlivých systémech jsou obsahem dalších kapitol a dílů PpBZ a této Zprávy.

Jako doplnění hodnocení provedeného v trvale aktualizované PpBZ bylo provedeno průřezové posouzení projektu elektrárny tzv. Periodického hodnocení bezpečnosti (PSR) po 20 a 30 letech provozu JE Dukovany. Toto posouzení bylo zaměřené na vyhodnocení do jaké míry vlastní projektové řešení elektrárny a její dokumentace odpovídají v té době platným a aktualizovaným bezpečnostním požadavkům. Hodnocení odolnosti na nadprojektové podmínky a těžké havárie bylo provedeno během Stress testů provedených po události v JE Fukushima.

Lze konstatovat, že bezpečnostní cíle projektu VVER-440/V213 jsou plněny a projekt JE Dukovany odpovídá současným národním i mezinárodním požadavkům.

3.2 Klasifikace staveb, komponent a systémů

Pro udržení JE v bezpečném stavu byla v souladu s mezinárodními doporučeními IAEA a příslušnými národními předpisy vydanými SÚJB definována množina systémů, zařízení a stavebních konstrukcí důležitých z hlediska jejich významu pro zajištění jaderné bezpečnosti. Rozdělení systémů EDU na bezpečnostní systémy a systémy související s bezpečností (klasifikace z hlediska jaderné bezpečnosti) je podrobně uvedeno v kap. 6.1.2. Toto rozdělení (klasifikace) pak tvoří základnu pro klasifikaci a kvalifikaci zařízení EDU ať již z hlediska jakosti, seizmicity či z hlediska podmínek okolního prostředí, v němž tato zařízení musí vykonávat požadované funkce.

3.2.1 Seismické třídění

Bezpečnostní systémy i systémy související s bezpečností musí zajistit plnění svých bezpečnostních funkcí za všech projektem předpokládaných stavů včetně seismické události. Prokázáním odolnosti bezpečnostně významných zařízení proti seizmickému působení se zabývá seismická část programu kvalifikace zařízení. Seizmická kvalifikace musí zajistit, že zařízení bude plnit požadované bezpečnostní funkce během a po odeznění seizmické události až do úrovně odpovídající maximálnímu výpočtovému zemětřesení označovanému jako SSE, S2 nebo případně ve starších dokumentech MVZ, a to za stavu zařízení, který odpovídá konci jeho kvalifikované životnosti.

V souladu s mezinárodními doporučeními a návody SÚJB se zařízení a stavební objekty s požadavkem seismické odolnosti zařazují do seismické kategorie „S“ a zařízení a stavby, pro které se seismická odolnost nepožaduje do kategorie „N“. Do kategorie „S“ patří stavební konstrukce, systémy a komponenty zařízení, které zajišťují:

- bezpečné odstavení reaktoru a zabezpečení podkritičnosti aktivní zóny,
- kontrolu a udržování parametrů I.O a II.O,
- odvod zbytkového tepla z reaktoru,
- dochlazení až do studeného stavu a udržování v těchto podmínkách po dobu alespoň 72 hodin,
- integritu I.O a II.O až po uzavírací armatury na hranicích mezi kategoriemi S a N,
- zabránění úniku radioaktivních látek a ionizujícího záření do okolí

a dále ty stavební konstrukce, systémy a komponenty zařízení, které by mohly v důsledku tzv. seizmických interakcí přímo či zprostředkovaně ohrozit seizmickou odolnost konstrukcí, systémů a komponent zařízení, primárně zařazených do seizmické kategorie „S“.

V technologické části se dále zařízení seizmické kategorie „S“ pracovně dělí na tři podkategorie 1a,1b,1c podle následujících definice:

1a vyžaduje se plná funkční způsobilost včetně 1b (zachování integrity) v průběhu a/nebo po skončení seizmické události až do úrovně maximálního výpočtového zemětřesení (SSE, S2) včetně;

1b vyžaduje se seizmická odolnost ve smyslu zachování mechanické integrity (pevnosti a hermetičnosti) v souladu s příslušnými pevnostními normami a předpisy, dílčí porušení funkční způsobilosti jsou možná až do úrovně maximálního výpočtového zemětřesení (SSE, S2) včetně;

1c vyžaduje se seizmická odolnost pouze z hlediska seizmických interakcí s jinými konstrukcemi, systémy či dílčími komponentami zařízení, a to nejčastěji ve smyslu zachování stability polohy, dílčí porušení funkční způsobilosti i mechanické integrity jsou možná až do úrovně maximálního výpočtového zemětřesení (SSE, S2) včetně;

N kvalifikace na seismicitu není požadovaná.

Rozsah systémů, zařízení a stavebních objektů zařazených do seizmické kategorie „S“ byl prověřen na požadavek seismické odolnosti. Hlavními metodami kvalifikace byly typové kvalifikační zkoušky, výpočty a provozní zkušenosti. Výsledkem hodnocení jsou záznamy průběhů kvalifikačních zkoušek a kvalifikační protokoly, které stvrzují funkčnost a odolnost zařízení. Provoz EDU lze považovat za bezpečný i v případě seizmické události, kterou projekt EDU předpokládá. Stavební objekty (stavební konstrukce) a technologické systémy a zařízení EDU jsou schopny plnit bezpečnostní funkce i během seizmické události.

3.2.2 Třídění systémů podle skupin jakosti

Vyhláška SÚJB č. 132/2008 Sb. o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd, vyžaduje vytvoření seznamu vybraných zařízení. Proto byla provedena klasifikace systémů z hlediska jejich funkcí a pro každý systém byla vybrána ta zařízení, která jsou potřebná (nutná) pro splnění bezpečnostních funkcí daného systému.

Vybraná zařízení se podle svého významu dělí do tří bezpečnostních tříd (BT1, BT2, BT3).

Bezpečnostní třída 1 obsahuje zařízení tvořící hranici chladicího okruhu jaderného reaktoru.
Do BT 1 jsou zařazeny zařízení I.O – reaktor (tlaková část), hlavní cirkulační potrubí (HCP), hydraulická část hlavních uzavíracích armatur (HUA), hydraulická část hlavních cirkulačních čerpadel (HCČ), primární část parogenerátorů (PG), kompenzátor objemu (KO) se spojovacím potrubím, navazující potrubí po oddělovací armaturu, jehož prasknutí nebo únik není kompenzován normálním systémem doplňování.

Bezpečnostní třída 2 obsahuje zařízení výkonných bezpečnostních systémů JE, zařízení jejich podpůrných a řídicích systémů (dodávající energii - systém zajištěného napájení I., II. kategorie včetně dieselgenerátorů (DG); systém rychlého odstavení reaktoru (RTS), systém spouštění bezpečnostních systémů (ESFAS), stavební konstrukce na hranici kontejnmentu a zařízení izolace kontejnmentu (v terminologii EDU též používaný termín hermetické zóny (HZ)).

Bezpečnostní třída 3 obsahuje zařízení podpůrných systémů pro bezpečnostní systémy s výjimkou napájení a řízení, zařízení výkonných systémů se vztahem k bezpečnosti, zařízení jejich podpůrných a řídících systémů a zařízení systémů pro snižování následků těžkých havárií.

Kritéria pro zařazení vybraných zařízení (VZ) do jednotlivých bezpečnostních tříd jsou stanovena v příloze uvedené vyhlášky. Rozdělení vybraných zařízení EDU do bezpečnostních tříd (BT) je důležité pro účely odstupňování požadavků na zabezpečování jakosti těchto zařízení. Pro EDU je v souladu s výše uvedeným zpracován Seznam vybraných zařízení, pod číslem Z001j, který se průběžně v návaznosti na prováděné rekonstrukce doplňuje a aktualizuje.

Seznam VZ je v souladu s požadavkem § 14 Vyhlášky SÚJB č. 132/08 Sb. zpracován v textové a výkresové části a přesně identifikuje jednotlivá VZ s uvedením BT. V textové části je BT označena u každé položky číslicí 1, 2 nebo 3, pokud není požadováno zařazení např. ovládacího okruhu mezi VZ, je údaj proškrtnut. Textová část:

Svazek T1 Společná část
Svazek T2 SVZ - 1. a 2. bloku, zařízení společná pro tyto bloky a společná zařízení elektrárny

Svazek T3 SVZ - 3. a 4. bloku a zařízení společná pro tyto bloky

Svazek T1 obsahuje přehled bezpečnostních systémů, systémů souvisejících s bezpečností, popisy systémů a seznam operativních schémat. Svazky T2 a T3 jsou členěny podle sestav zařízení. Použité typy sestav (v abecedním řazení, jako jsou dokladovány v Seznamu vybraných zařízení (SVZ)):

Tab. 25. Použité typy sestav.

TYP	Název sestavy	Obsahuje VZ typu:
B	Betony, oblicovky	Betony, oblicovky stavební části tvořící hranici kontejnmentu a zajišťující stínění
D	Dveře a poklopy	Dveře a poklopy
E	Elektročást	Elektročást
F	Elektro Požární Signalizace	Elektrická požární signalizace – ústředny EPS
H	Průchodky potrubní	Hermetické potrubní průchodky kontejnmentu
J	Průchodky kabelové	Hermetické kabelové průchodky kontejnmentu
M	Měřící okruhy	Měřící okruhy – čidla MO
O	Ovládací okruhy	Ovládací okruhy – seznam akčních členů ovládacích okruhů
P	Panely, Pulty	Panely, pulty a skříně SKŘ
S	Strojní a VZT	Strojní a VZT zařízení

Ve výkresové části je BT vyznačena barevně:

BT 1 – červeně,
BT 2 – modře,
BT 3 - zeleně.

Zařízení, nezařazené mezi VZ je kresleno černě. Operativní schémata jsou k dispozici u provozovatele EDU v aplikaci v MNT Graf.

Seznam VZ dále zahrnuje údaje o příslušnosti VZ k vyhlášce SÚJB č. 309/2005 Sb. o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení. Jedná se o vyznačení vybraných zařízení speciálně navrhovaných pro JE (VZSN). Zařízení zařazené mezi VZSN je vyznačeno fialovou barvou.

Pro vytvoření seznamu vybraných zařízení v části SKŘ se využívá klasifikace podle ČSN EN 61226. Důvodem je fakt, že formulace kritérií pro zařazení do vybraných zařízení podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. je pro klasifikaci SKŘ relativně obecná. Zařízení SKŘ realizující funkce kat. A je obvykle zařazeno do BT2, zařízení SKŘ realizující funkce nejvýše kat. B do BT3 popřípadě i do BT2, a zařízení SKŘ realizující funkce nejvýše kat. C do BT3 nebo do nevybraných.

3.3 Zatížení od extrémních klimatických podmínek

Zatížení klimatickými jevy vychází ze statistického zpracování ročních extrémů hodnot relevantních meteorologických veličin, naměřených v období alespoň 50 let v lokalitě JE Dukovany a na meteorologických stanicích v okolním regionu, které mají z hlediska klimatických podmínek stejný charakter jako lokalita JE Dukovany.

Klimatické podmínky lokality jsou předmětem kapitoly 2.4 této Zprávy a byly zpracovány v souladu s požadavky a doporučeními IAEA, zejména pak se standardem NS-R-3 a doporučeními NS-G-3.4 a SSG-18. Na základě dostupných meteorologických údajů byly pomocí pravděpodobnostní funkce Gumbelova rozdělení určeny velikosti projektového i extrémního výpočtového zatížení. V případě projektového zatížení klimatickými účinky je uvažována opakovatelnost výskytu jevu jednou za 10^2 let. Pro extrémní výpočtové zatížení klimatickými účinky je uvažována opakovatelnost výskytu jednou za 10^4 let.

Zatížení účinky od extrémních klimatických jevů nesmí ohrozit funkci systémů důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti. V této souvislosti musí být prověřeny zejména objekty seizmické kategorie "S", důležité z hlediska jaderné bezpečnosti. Objekty kategorie „S“ musí odolat projektovému i extrémnímu výpočtovému zatížení. Pro objekt Budovy pomocných provozních provozů, obsahující zařízení na zpracování radioaktivních látek, se uvažují projektová klimatická zatížení. Pro ostatní objekty, které nemají žádný vztah k jaderné bezpečnosti, se provádí hodnocení podle ČSN 73 0035 „Zatížení stavebních konstrukcí“ pro stávající objekty, resp. podle ČSN EN 1991 Eurokód 1 „Zatížení konstrukcí“ pro nové objekty.

Pro účely určení parametrů klimatických zatížení EDU byly vyhodnoceny níže uvedené meteorologické veličiny:

- okamžitá rychlost větru
- výška sněhu (jako vodní hodnota sněhu)
- dešťové srážky
- teplota vzduchu

Pro tyto klimatické jevy bylo provedeno hodnocení vybraných staveb vůči zatížením vyvolaným extrémními klimatickými podmínkami s periodicitou výskytu 100 a 10 000 let. Posouzení odolnosti bylo provedeno u objektů HVB, DGS, BAPP, CČS, chladící věže, ventilační komín, budova SHNČ, přístavek u BD a nádrže demi-vody. Postup určení mezních odolností konstrukcí je popsán v materiálu „Metodika pro hodnocení konstrukcí stavebních objektů JE Dukovany a JE Temelín na zatížení extrémními klimatickými podmínkami“, EGP 5043-F-131641, 12/2013. Výpočty stavebních konstrukcí se provádí vesměs s použitím metody konečných prvků pro výpočtové modely příslušných stavebních objektů. Při hodnocení se vychází ze zásady, že se kombinuje vždy zatížení provozní s jedním zatížením extrémním. Reálná rezerva zatížení jednotlivých stavebních objektů se zjistila porovnáním hodnot mezní odolnosti s maximálním výpočtovým zatížením.

3.3.1 Zatížení větrem

Hodnoty zatížení větrem se odvozují z naměřených hodnot nárazového větru získaných z pěti stanic v širším okolí JE Dukovany a ze stanice Dukovany. Účinek je vyjádřen tlakem větru, který je stanoven pomocí meteorologické veličiny okamžité rychlosti větru.

Z Gumbelova rozdělení byly v kap. 2.4 aktualizované v roce 2015 potvrzeny hodnoty nárazového větru:

- nárazový vítr pro střední dobu návratu **100 let**: **46,5 m/s**
- nárazový vítr pro střední dobu návratu **10 000 let**: **63,4 m/s**

Statisticky vyhodnocené hodnoty okamžité rychlosti větru jsou převedeny na střední rychlost větru v intervalu 10 s, pro kterou platí experimentálně ověřený kalibrační vztah:

$$v_m = \beta * v_{max}$$

kde součinitel β stanovuje pro danou lokalitu ČHMÚ, pro obvyklé budovy v lokalitě JE Dukovany lze použít β = 0,81.

Základní tlak větru, jako účinek okamžité rychlosti větru naměřené ve výšce 10 m nad terénem, se stanoví pomocí vztahu:

$$w = 1/1600*v^2$$

který vychází z části upravené Bernoulliho rovnice. Tímto postupem jsou stanoveny obě hodnoty zatížení:

- projektové zatížení větrem pro dobu návratu 100 let: **w_{proj} = 0,89 kN/m²**
- extrémní výpočtové zatížení větrem pro dobu návratu 10 000 let: **w_{extr} = 1,65 kN/m²**

Stanovení mezní odolnosti bezpečnostně významných budov a chladících věží na účinky větru bylo provedeno v roce 2010. V tomto roce byl rovněž realizován přepočet strojoven na zatížení při všech extrémních klimatických vlivech. V rámci přepočtu vůči novým a vyšším extrémním zatížením byly zjištěny v konstrukcích některých stavebních objektů dílčí projektové nedostatky, které byly způsobené tím, že původní návrhové úrovně vycházející z projektové normy ČSN 73 0035 byly nižší než současné konzervativně stanovené hodnoty extrémních zatížení. Z důvodu zvýšení ochrany do hloubky při extrémních přírodních událostech bylo realizováno zodolnění projektu příslušných stavebních konstrukcí na nové požadavky.

V rámci zodolnění byly posíleny ocelové konstrukce a vaznice střechy reaktorového sálu (SO 800) na všech čtyřech blocích a obou centrálních čerpacích stanicích (SO 584). Dále bylo posilněno vyztužení ocelových prvků konstrukce podélné etažérky (SO 805) a provedeno zodolnění střechy strojovny (SO 490).

Jako významný příspěvek ke zvýšení odolnosti vůči extrémnímu větru byla realizovaná výstavba nového koncového jímače tepla (ventilátorových věží) nezávislého na okruhu cirkulační chladící vody. Na 1. bloku EDU (resp. 1. HVB pro KJT) jsou všechna bezpečnostní vylepšení již zrealizována a na dalších blocích budou dokončena nejpozději před podáním žádosti na další 10-leté období provozu JE (2016-2017 dle jednotlivých bloků).

3.3.2 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je vyjádřeno vodní hodnotou sněhu, tj. výškou vodního sloupce v mm, který vznikne roztáním sněhu. V této hodnotě je obsažena nejen voda ve formě sněhu ale i voda ve formě kapalných srážek zachycených sněhem.

Z Gumbelova rozdělení byly v kapitole 2.4 aktualizované v roce 2015 potvrzeny maximální hodnoty zatížení sněhem:

- výška vodního sloupce pro střední dobu návratu **100 let**: **117,7 mm**
- výška vodního sloupce pro střední dobu návratu **10 000 let**: **196,8 mm**

Pozn.: Metodou „výběr maxim z maxim pro 3 měřící stanice v okruhu do 10 km“ byla získaná vodní hodnota sněhu 206,7 mm. Tato metoda je pro střední dobu návratu 10 000 let značně konzervativní, a proto není pro určení extrémního zatížení sněhem uvažována. Jako hodnota zatížení sněhem pro střední dobu návratu 10 000 let pro EDU je nadále uvažována hodnota 196,8 mm odvozená z měření ze stanice Hrotovice s nejdelší řadou měření a vykazující maximální hodnotu zatížení. Výběr referenční stanice Hrotovice je současně v souladu s článkem 4.28 IAEA SSG-18. Hodnota 206,7 mm bude uvažována pro případná nová zařízení v lokalitě EDU a rovněž je použita pro hodnocení nadprojektových zatížení sněhem (viz. kapitola 19.2).

Vodní sloupec byl přepočten na odpovídající zatížení tlakem podle vztahu $S = \rho * g * h$:

- projektové zatížení sněhem pro dobu návratu 100 let: $\mathbf{S_{proj} = 1{,}155\ kPa}$
- extrémní zatížení sněhem pro dobu návratu 10 000 let: $\mathbf{S_{extr} = 1{,}95\ kPa}$

V porovnání se základní tíhou sněhu pro danou lokalitu dle ČSN 73 0035, která je stanovena pro stavby v lokalitách západně od Dukovan (protože Dukovany jsou na pomezí I. a II. sněhové oblasti uvažujeme oblast II s vyšší) jsou výše uvedené hodnoty projektového a extrémního zatížení vyšší než normativní zatížení dle ČSN 73 0035 pro danou oblast. V roce 2011 bylo provedeno stanovení mezní odolnosti bezpečnostně významných budov při sněhové zátěži – bez ohledu na reálné možné zatížení. Na základě vyhodnocení výsledků odolnosti budov byly zjištěny dílčí zjištěné nedostatky u objektů strojovny a centrální čerpací stanice, způsobené rozdílem mezi původními návrhovými úrovněmi a novými hodnotami určenými konzervativnějšími metodami. Tyto nedostatky byly vyřešeny v rámci vylepšení projektu stavebních konstrukcí na nové požadavky.

U objektu CČS (SO 584) bylo provedeno zodolnění vaznice a vazníků střechy tak, že obě budovy CČS vydrží extrémní sněhovou zátěž. Rovněž u objektů strojovny (SO 490)

je realizováno zodolnění střešních vazníků a světlíků proti extrémnímu zatížení sněhem. Na 1. bloku EDU jsou všechna bezpečnostní vylepšení již zrealizována a na dalších blocích budou dokončena nejpozději před podáním žádosti na další 10-leté období provozu JE (2016-2017 dle jednotlivých bloků).

3.3.3 Zatížení dešťovými srážkami

Statistické hodnocení vychází z měřených hodnot vodního sloupce za stanovené období. Delší časové období (obvykle 24 hod.) je významné pro hodnocení zvýšení hladiny vodních toků a nebezpečí záplav. Lokalita JE Dukovany je umístěna tak, že lze záplavu v důsledku zvýšené hladiny vodních toků vyloučit.

Krátkodobé intenzivní srážky (přívalové deště) v trvání 5 min. až 5 hod. jsou důležité z hlediska lokálního zaplavení suterénu bezpečnostně významných staveb v důsledku zahlcení odvodňovacího systému elektrárny. V případě extrémních srážek nestačí kanalizační systém odvádět vodu z povrchu terénu, kde dochází krátkodobě ke vzniku vodní vrstvy a vzniká riziko zaplavení.

V kapitole 2.4 byly v roce 2015 určeny následující denními úhrny srážek:

- denní úhrn srážek pro střední dobu návratu **100 let**: **77 mm**
- denní úhrn srážek pro střední dobu návratu **10 000 let**: **125 mm**

a náhradní intenzity přívalových dešťů pro proměnou dobu trvání deště:

Tab. 26. Intenzity přívalových dešťů pro proměnou dobu trvání deště.

Doba trvání [min]	Intenzita srážek [mm] pro střední dobu opakování [počet let]	
	100	10000
5	20	32
10	27	46
15	31	54
20	33	60
30	37	67
40	40	71
60	44	78
90	48	84
120	51	87
150	53	90
180	55	92
240	57	96
300	60	98

Z hlediska statického namáhání se konzervativně předpokládá ucpání střešních svodů a zaplnění střech (pokud je střecha ohraničena ze všech stran atikami) vodou v množství odpovídajícímu dennímu úhrnu dešťové srážky pro opakovatelnost 100, respektive 10 000 let. Zatížení hodnocených objektů v důsledku dešťových srážek je vyhovující, neboť 10 000 leté zatížení sněhem působí horšími účinky než zde hodnocená maxima denních a přívalových srážek.

Při hodnocení vlivu záplavových dešťů na bezpečnost JE se vychází z jednodenní dešťové srážky s opakovatelností za 10 000 let. Konzervativně se předpokládá ucpání dešťových vpustí kromě svodů z budov (pozn.: dešťová kanalizace stavebních objektů EDU byla navržena na 15 minutový déšť s intenzitou 135 l/s/ha).

Pro hodnocení vlivu deště se vychází z kumulativního nahromadění celého srážkového množství za 24 hodin na terénu elektrárny a z výškového zaměření terénu,

komunikací a výškových kót stavebních objektů elektrárny. Z hodnocení výškových poměrů vychází, že nemůže dojít k zaplavení bezpečnostně důležitých objektů (HVB, DGS, přístavek SHN, potrubní a kabelové kanály) ani při extrémní jednodenní dešťové srážce.

Určité riziko je vznik záplavové vlny a vniknutí vody do budovy CČS, která je vůči kótě ±0,00 m hlavních technologických objektů umístěna o 5,1 m níž. Vniknutí záplavové vody do čerpací stanice ale nemůže narušit funkci čerpadel TVD. Elektrické rozvaděče jsou umístěny cca 1 m nad podlažím ±0,00 m a motory (jedná se o motory s vertikální osou) jsou umístěny na zesíleném soklu. Zaplavení kabelových kanálů, které jsou pod podlažím ±0,00 m CČS nehrozí. Vniklá voda by se shromažďovala v šachtách čerpadel, odkud ji lze odčerpat kalovými čerpadly.

3.3.4 Zatížení a doprovodné účinky venkovních teplot

Jev je podrobně zpracován v podkapitole 2.4. Vstupní data pro statistické zpracování využívají údajů absolutních maxim a minim teploty vzduchu, a to jak okamžitých, tak šestihodinových, denních a týdenních průměrů, vygenerovaných z více než 50letého období měření teplot na meteorologických stanicích uvedených v kapitole 2.4. V následující tabulce je uveden souhrn extrémních teplot vypočtených pomocí Gumbelova rozdělení.

Tab. 27. Extrémní hodnoty venkovních teplot pro lokalitu EDU.

Meteorologická veličina	Doba opakování	
	100 let	10 000 let
absolutní roční maxima teplot (°)	40,5	49
absolutní roční minima teplot (°)	-31,7	-47,9
roční minima průměr. denních teplot (°)	-23,9	-37,3
roční maxima 6-hodinových průměrů teploty (°)	38,8	46,3
roční minima 7denních teplot (°)	-19	-30,9

Posouzení vlivu extrémně nízkých teplot vnější atmosféry na vybrané bezpečnostní systémy, zajišťující bezpečnost provozu bloků, je provedeno pro roční minimum denní teploty -37,3 °C a roční minima 7denních teplot -30,9 °C. Zařízení uvnitř budov nejsou extrémním chladem bezprostředně ohrožena. Pokud jsou zařízení v provozu a topení funguje (alespoň jeden blok v provozu na vlastní spotřebě), tak ani při extrémně nízkých teplotách nejsou zařízení důležitá pro bezpečnost ohrožena. Ani přerušení dodávky energií na dobu 24 hodin nezpůsobí narušení funkčnosti budov a systémů. Tato doba je dostatečná pro provedení nápravných opatření.

Mezi zařízení umístěné ve venkovním prostředí s vlivem na bezpečnost patří zásobní nádrže demi-vody 3 x 1000 m^3, potrubí TVD mimo HVB, propojení objektu DG na vnější okolí (nasávání vzduchu, doplňované palivo, výfuk spalin) a ventilátorové věže.

S ohledem na min. teplotu demi-vody cca +15 °C přiváděné do nádrží demi-vody 3 x 1000 m^3 (je dána funkcí demineralizace v CHÚV a tepelnou ochranou nádrží) nemůže teplota v nádržích při extrémně nízké 7denní teplotě klesnout pod cca +5 °C.

Potrubí TVD mimo HVB jsou umístěna v potrubních kanálech a jejich zamrznutí nehrozí ani při extrémní 7denní nízké teplotě.

DG má předehřívání oleje a v horké rezervě je cyklicky přemazáván. Parametry dodávané nafty zabraňují jejímu ztuhnutí i při extrémní 7denní nízké teplotě. Nasávání vzduchu do dieselových motorů se děje přes žaluzie, které se při podtlaku v místnosti otevírají. V období mrazů (pokud DG nepracuje) se může na žaluziích tvořit námraza. V případě potřeby bude vyhlášena mimořádná událost a svolán havarijní štáb.

Ventilátorové chladicí věže jako hlavní prostředek koncového jímání tepla jsou proti zamrzání technologického zařízení chráněny bypassem TVD přímo do sběrné nádrže VV a zimním opatřením ochrany technologie věže.

Posouzení vlivu extrémně vysokých teplot vnější atmosféry bylo provedeno ve zprávě EGP 5090-T-002003 v roce 2003 a v revizi EGP 5010-F-080999 v roce 2008. V souladu s ostatními kapitolami bezpečnostní zprávy EDU1-4 byla zvolena hodnota extrémně vysoké venkovní teploty (s periodicitou 10^{-4}/rok) 46 °C po dobu trvání min. 6 hod/den s uvažováním jejího poklesu v nočních hodinách. Z analýz vyplývá, že i při této extrémní vysoké teplotě jsou zachovány základní bezpečnostní funkce - schopnost udržet reaktor v podkritickém stavu, schopnost systému TVD odvádět zbytkové teplo z AZ reaktoru a není důvod předpokládat zvýšené úniky RA médií.

Dle Technických podmínek je nominální el. výkon dieselgenerátorů (DG) 2800kW garantován do okolní teploty 45°C, překročení této hodnoty o 1°C by se projevilo snížením dosažitelného výkonu DG o jednotky procent vlivem zvýšené teploty plnícího vzduchu. Větší vliv by mělo nedodržení požadované vstupní teploty chladící TVD (33°C). Zvýšení teploty TVD by mělo vliv na chlazení vnitřního chladícího okruhu, oleje a mezichladiče plnícího vzduchu, což by mohlo způsobit snížení dosažitelného výkonu DG až o 10%. Stále ale zůstává dostatečná výkonová rezerva pro napájení nejdůležitějších spotřebičů – čerpadla TVD, SAOZ, HNČ/SHNČ.

Udržení teploty TVD na úrovni max. projektové hodnoty 33°C by při 10 000 letém teplotním extrému bylo možné zajistit doplňováním čerstvé studené vody z čerpací stanice Jihlava. Na základě meteorologických informací lze předpokládat, že teplota v povrchových vrstvách nádrže Mohelno nebude ani při teplotních extrémech vyšší než 28 °C. Surová voda se navíc odebírá z hlubších vrstev, kde teplota vody nepřesahuje 22 °C.

Pro zvládnutí extrémně vysokých teplot má rovněž bezpečnostní přínos zodolnění projektu JE prostřednictvím dostavby nezávislého koncového jímače tepla (ventilátorových věží). Ventilátorové věže umožňují oddělení systému TVD od okruhu cirkulační chladící vody a udržení teploty 33°C i při letních teplotních maximech. Na 1. HVB je výstavba nového koncového jímače tepla (ventilátorových věží) dokončena a na 2. HVB bude dokončena nejpozději před podáním žádosti na další 10-leté období provozu 3. a 4. bloku (2016-2017).

Zařízení SKŘ, zajišťující plnění základní bezpečnostních funkcí, zůstanou při extrémně vysoké teplotě provozuschopná. Funkčnost systémů SKŘ, které prošly obnovou SKŘ M1, 2 (T544) je spolehlivě zajištěna chlazením příslušných místností nezávislými jednotkami napájenými ze ZN II. kategorie.

3.4 Posouzení odolnosti vůči záplavám

3.4.1 Záplavy vnějšího původu

Vnější záplavy mohou být způsobeny záplavami z vodních toků nebo přívalovými dešti. Vnější záplava z vodních toků nepřichází v JE Dukovany v úvahu. Areál elektrárny se nachází na náhorní plošině v nadmořské výšce 383,5 - 389,10 m n. m., přičemž vodní nádrž Dalešice ležící cca 4 km proti proudu řeky Jihlavy od elektrárny má maximální hladinu vody na úrovni 381,50 m n. m. (přeliv hráze při povodni) a vodní nádrž Mohelno umístěná cca 2 km od elektrárny má maximální hladinu vody 303,30 m n. m. (přeliv hráze). Odběr vody pro jadernou elektrárnu je uskutečněn ze spodní nádrže Mohelno prostřednictvím čerpací stanice (ČS) Jihlava. ČS Jihlava by teoreticky mohla být z provozu vyřazena záplavovou vlnou způsobenou hypotetickým poškození hráze vodní nádrže Dalešice. ČS Jihlava ale nepatří mezi bezpečnostně významné objekty, v lokalitě elektrárny jsou dostatečné zásoby vody na odvod zbytkového tepla.

Odtok srážkových vod je zajištěn systémem pasivní gravitační dešťové kanalizace. Společně s dalšími odpadními vodami je po vyčištění odváděn do Skryjského potoka a dále do vodní nádrže Mohelno. Systém dešťové kanalizace je navržen na odtok

dešťových srážek intenzity 135 l/s/ha, periodicitu 1 x za rok a dobu trvání 15 minut. I při výskytu teoretických srážek s vyšší intenzitou je systém dešťové kanalizace schopen tyto srážky odvést vzhledem k velkému objemu stok a krátkému trvání intenzivních srážek. Při hodnocení vlivu extrémních dešťových srážek na bezpečnost JE se konzervativně předpokládá úplné selhání (ucpání) dešťové kanalizace. Hodnocení vlivu záplavových dešťů na důležité objekty EDU (HVB, DGS, CČS, budova superhavarijního napájení (SHN), potrubní a kabelové kanály) prokázalo, že k zaplavení bezpečnostně významného zařízení nemůže dojít ani při hypotetickém nahromadění celého srážkového množství na terénu elektrárny během 10 000 – leté extrémní jednodenní dešťové srážky (viz kap. 3.3.3 této Zprávy).

3.4.2 Záplavy vnitřního původu

Nejčastějšími příčinami záplav vnitřního původu mohou být úniky z technologických systémů (trhliny potrubí a svarů, poškození ložisek nebo ucpávek čerpadel, netěsnosti přírub a dělících rovin armatur, apod.), zapracování hasících systémů (očekávané i falešné), poruchy v kanalizačních systémech či důsledek lidské chyby (chybná manipulace, nesprávná údržba, apod.).

3.4.2.1 Vnitřní záplavy způsobené úniky média z technologických systémů

Při hodnocení zranitelnosti systémů a zařízení důležitých pro bezpečnost byly specifikovány a zhodnoceny následující reprezentativní iniciační události úniků média z technologických systémů reprezentující nejhorší možné způsoby vnitřního zaplavení:

- Velký únik primárního chladiva do boxu parogenerátorů při porušení integrity potrubí primárního systému
- Velký únik napájecí vody při havárii napájecího nebo parního potrubí na podélné etažérce + 14,7 m
- Únik média při roztěsnění potrubních tras aktivního systému havarijního chlazení aktivní zóny (SAOZ)
- Velký únik technické vody důležité (TVD) v reaktorovně
- Velký únik technické vody důležité ve strojovně
- Velký únik cirkulační chladící vody ve strojovně
- Velký únik napájecí vody a kondenzátu ve strojovně
- Prasknutí napájecí nádrže nebo nádrže zásoby TVD ve strojovně
- Prasknutí kondenzátoru turbogenerátoru
- Únik média z technologických systémů v dieselgenerátorové stanici
- Únik média z technologických systémů v přístavku superhavarijního napájení PG

Pro tyto obálkové iniciační události bylo provedeno zhodnocení vlivu vnitřních záplav na bezpečnost provozu EDU.

S úniky chladiva z primárního okruhu do boxu parogenereátorů vnitř kontejnmentu projekt VVER-440/V213 počítá, zaplavení nepřekročí maximální dovolenou úroveň a veškeré důležité zařízení uvnitř kontejnmentu je na podmínky LOCA kvalifikováno.

Velký únik média z vysokotlakého parního nebo napájecího potrubí na podélné etažérce + 14,7 m zaplavení bezpečnostního zařízení nevyvolá, protože prostory podélné etažérky jsou propojené se strojovnou a netvoří žádnou izolovanou oblast.

Únik média při roztěsnění potrubních tras aktivního systému SAOZ může v krajním případě vyřadit z činnosti pouze jeden bezpečnostní systém, což při počtu 3 bezpečnostních systémů na blok neohrožuje bezpečnost JE.

Velký únik technické vody důležité v reaktorovně by teoreticky mohl ohrozit zařízení v místnostech bezpwšnostních systémů (SAOZ), v místnosti systému chlazení bazénu skladování vyhořelého paliva (BSVP) v místnosti A242 anebo v místnosti meziokruhů TF10,30 (A307). Pro únik TVD v místnostech SAOZ platí stejný závěr jako pro únik z tras aktivního systému, vnitřní záplava může vyřadit pouze jeden bezpečnostní systém a tudíž bezpečnost JE neohrožuje. Únik TVD v místnosti A242 čerpadla ani motory systému chlazení BSVP, vzhledem k jejich hermetickému provedení, neohrožuje. Navíc v

případě výpadku tohoto systému je možné chlazení BSVP zajistit alternativním způsobem akumulací tepla v nádržích SAOZ anebo doplňováním vyvařeného chladiva, a tyto alternativní způsoby jsou vytvořeny příslušné postupy. Zaplavení místnosti A307 je vzhledem k instalované ocelové mříži (místo vstupních dveří) nereálné. Navíc stav s neprovozuschopným systémem TF10 nebo TF30 je řešen v provozním předpise P002. Lze konstatovat, že velký únik technické vody důležité v reaktorovně nemá vliv na bezpečný provoz JE.

Velký únik technické vody důležité ve strojovně při prasknutí některého z potrubí TVD (průměr 514 mm) 1. až 3. systému v technologickém kanále na podlaží – 5,50 m způsobí postupné zaplavování suterénních prostorů strojovny. Doba do zaplavení nejníže umístěných čerpadel – systému kontinuálního čistění kondenzátorů je při uvažování 1,5 násobku provozního průtoku TVD přibližně 2,5 hodiny. Velký únik TVD vyvolá pokles tlaku v systému a přískok rezervního čerpadla TVD. Pokles tlaku je signalizován na dozorně CČS a přískok rezervního čerpadla je signalizován na blokové dozorně (BD). Na BD je dále vyvedena informace o výskytu vody v suterénu strojovny. Vzhledem k dostatečné informovanosti obsluhy a dostatečné časové rezervě pro zásah (odstavení čerpadel) lze konstatovat, že velký únik TVD ve strojovně nemá na bezpečnost provozu JE vliv.

Za nejzávažnější případ by bylo možné považovat velký únik cirkulační chladicí vody (CCHV) ve strojovně při úplném prasknutí potrubí CCHV (průměr 1800 mm) na přívodu do kondenzátoru TG 11 u HVB 1. Při paralelním chodu dvou pracujících čerpadel cirkulační chladící vody (BQDV) v centrální čerpací stanici HVB1by k úplnému zaplavení suterénu strojovny došlo (bez zásahu obsluhy) za 50 minut. Ve skutečnosti však lze předpokládat, že všechna čerpadla BQDV budou v průběhu poruchového děje postupně automaticky odstavena signálem od poklesu hladiny v jímce CČS. Z bilance záplavových objemů suterénu strojovny a objemu vody v systému CCHV a TVD vyplývá, že nedojde k zaplavení stropu podlaží – 5,5 m a dalšímu šíření záplavy do rozvoden vlastní spotřeby bloku na kótě ± 0,00 m v podélné etažérce, kde se nacházejí systémy a zařízení důležité pro bezpečnost. Nutno poznamenat, že po vzniku události budou oba reaktorové bloky přibližně do 2 minut automaticky odstaveny z provozu ochranami RTS v důsledku postupného výpadku všech turbosoustrojí od ztráty vakua v kondenzátorech. Současně bude informována obsluha BD o přítomnosti vody v suterénu strojovny na kótě – 5,5 m. Odezvu personálu (odstavení čerpadel BQDV) lze očekávat, v čase podstatně kratším, než v analýzách uvažované době 30 minut od vzniku události. Událost nemá na bezpečnost provozu EDU vliv.

Ve srovnání s předcházejícími dvěma iniciačními událostmi bude mít únik média z ostatních zařízení na strojovně (únik napájecí vody a kondenzátu na strojovně) mnohem menší vliv. Při maximálním vyprázdnění zdrojů je celkové množství vyteklé do strojovny menší než při úniku ze systému TVD nebo CCHV. Lze konstatovat, že tyto události neohrozí bezpečnost EDU.

Únik média z technologických systémů v dieselgenerátorové (DG) stanici nepředstavuje z hlediska bezpečnosti problém, protože při jediné poruše může být vyřazen z provozu resp. ze stavu pohotovosti pouze jeden DG. Událost nemá vliv na bezpečnost JE.

Zaplavení čerpadel v budově SHNČ nepřichází v úvahu ani při náhlém úplném roztěsnění sacího řádu libovolného čerpadla z nádrží demivody 1000 m^3. Čerpadla demivody 1 MPa a superhavarijní čerpadla se nacházejí ve velkoprostorové místnosti (cca 40 x 10 m), která je situována nad úrovní okolního terénu, do kterého by se demivoda rozlila. Čerpadla jsou umístěna na vyvýšených podstavcích a oddělena stěnami. Případné ohrožení ostřikem z vlastního výtlačného řádu je vzhledem k uzavřenému krytu čerpadla a zapouzdřenému motoru vysoce nepravděpodobné a v krajním případě může vyřadit nejvýše jeden ze systémů SHNČ. Bezpečnost EDU není ohrožena.

Z provedeného hodnocení vyplývá, že události vyvolané vnitřními záplavami způsobenými úniky z technologických systémů nemají na bezpečnost JE vliv. V krajním

případě může být z činnosti vyřazen pouze jeden bezpečnostní systém, protože vzájemně redundantní systémy jsou fyzicky oddělené (umístěním zařízení do oddělených prostor či místností). Na tuto událost (jednoduchá porucha) je EDU projektována.

3.4.2.2 Vnitřní záplavy jako důsledek poruchy, očekávaného zapracování nebo náhodného uvedení do činnosti hasicích zařízení

Mezi nejzávažnější události patří zapracování hasicího zařízení kabelových kanálů uvnitř reaktorových bloků. Při jeho zapracování je ohrožený úsek zkrápěn vodními kapičkami. Doba činnosti se očekává nejvýše 10 minut. Kabelové prostory jsou na zapracování hasicího zařízení přizpůsobeny. Od místností systémů a zařízení důležitých pro bezpečnost jsou stavebně oddělené. Podlahové odpady jsou svedeny do zvláštního (tzv. čistého) kolektoru speciální kanalizace, vedeného samostatně na uzel nádrže odpadních vod.

Možné ohrožení systémů a zařízení důležitých pro bezpečnost z hlediska vnitřní záplavy způsobené činností hasicího zařízení by teoreticky mohlo nastat v objektu 584 – Centrální čerpací stanici a v objektu 530 – Dieselgenerátorová stanice. V objektu 584 neumožňuje dispoziční řešení rozvodu požární vody ostřik elektromotorů čerpadel TVD. V objektu 530 by teoreticky mohl být ostřikem ohrožen provoz generátoru. Avšak vyřazení jednoho DG neohrozí bezpečnost reaktorového bloku a k současnému vyřazení všech tří DG nemůže dojít. Při zapracování hasicího zařízení na jednom požárním úseku jsou ostatní požární úseky příslušného reaktorového bloku blokovány.

Souhrnně lze konstatovat, že při zapracování systémů protipožárního zabezpečení na reaktorových blocích ani v dalších důležitých objektech EDU1-4 není z důvodu vnitřní záplavy ohrožena bezpečnost JE.

3.4.2.3 Vnitřní záplavy jako důsledek poruch v kanalizačních systémech na jaderné elektrárně

Poruchy v kanalizačních systémech ani při jejím úplném ucpání nevyvolají při normálním provozním nátoku záplavu, kterou by nebylo možno řešit obslužným personálem JE s dostatečnou časovou rezervou. V případě kombinace poruchy speciální kanalizace a záplavy v reaktorovně je třeba sledovat nižší podlaží, kde jsou umístěny systémy a zařízení důležité pro bezpečnost. Čerpadla a jejich pohony jsou v jednotlivých místnostech systému havarijního chlazení aktivní zóny (SAOZ) umístěny na postamentech, které vylučují jejich zatopení při malé záplavě v dané místnosti. Voda na podlaze každé místností SAOZ je dálkově signalizována na blokové dozorně (BD). Z důvodu zabránění rozšíření velké záplavy mezi jednotlivými místnostmi jsou dveře do každé místnosti uzavřeny a kvůli zabránění zpětnému nátoku při omezené průchodnosti společného sběrného kolektoru se kanalizační vpusti jednotlivých místností SAOZ provozují jako uzavřené. V případě dálkové signalizace zaplavení některé místnosti na panelu BD se kanalizační vpusť otevírá ručně.

3.4.2.4 Vnitřní záplavy jako důsledek selhání lidského faktoru

Vedle uvedených příčin záplav vnitřního původu se mohou na jaderné elektrárně vyskytnout vnitřní záplavy jako důsledek selhání lidského faktoru. K základním příčinám takového druhu iniciačních událostí patří:

- chyby při složitých technologických manipulacích, např. prvotní plnění systémů pracovním médiem po provedených opravách nebo vypouštění za účelem odstavení potrubních tras nebo nádrží do opravy,
- kolize v koordinaci prací při přechodových provozních režimech (náběh a plánované odstavení bloku),
- nedůslednost resp. opomenutí při poskytování informací o aktuálním provozním stavu zařízení apod.

Realizace složitých provozních manipulací je na JE Dukovany zajišťována prostřednictvím manipulačních provozních předpisů a v případě nestandardních manipulací pomocí operativních programů. Proces vytváření a schvalování těchto provozních dokumentů je nedílnou součástí programu zajištění kvality, jehož důsledné uplatňování je předpokladem, že rizika plynoucí z lidské činnosti při využívání jaderné energie budou omezena na nejmenší možnou míru. Následky záplav v důsledku chybné činnosti obsluh jsou obálkově řešeny v předchozích odstavcích, tj. v rozborech technologických selhání. Riziko selhání lidského faktoru je z důvodu kumulování činností nejpravděpodobnější během odstávek bloků, kdy je vliv vnitřní záplavy menší, než kdyby k ní došlo za provozu bloků.

3.5 Ochrana před letícími předměty

Základním zařízením EDU je věnována velká pozornost (v projektu, konstrukci, výrobě, montáži, provozu i údržbě) tak, aby k jejich roztržení a vzniku letících předmětů nedošlo, resp. aby pravděpodobnost takové havárie byla snížena na minimum. Přesto nelze vznik vnitřních letících předmětů při provozu elektrárny úplně vyloučit. Proto byly definovány iniciační události, které reprezentují konzervativními případy pro celé spektrum možných letících předmětů. Mezi speciální případ vnitřních letících předmětů patří tzv. gravitační střely (pád zavěšených a transportovaných břemen), jejichž hodnocení je také provedeno.

V další části je uvedeno posouzení rizika vnějších letících předmětů. Vnější letící předměty mohou být způsobeny přírodními událostmi v okolí EDU nebo událostmi způsobenými činností člověka, specifickým příkladem je pád letadla.

3.5.1 Letící předměty vnitřního původu

Riziko spojené s letícími předměty je určováno pravděpodobností výskytu havárie technologického zařízení spojené s uvolněním letícího předmětu a následky, které mohou generované vnitřní letící předměty způsobit.

Požadavek na ochranu proti střelám (letícím předmětům) vyplývá z rozboru následků, které by mohly být způsobeny v důsledku zasažení střelou. Hodnotí se celková pravděpodobnost zásahu bezpečnostně významného cíle s nepřijatelnými důsledky. Tato pravděpodobnost je dána součinem: P = P1 * P2 * P3, kde:

P1 = pravděpodobnost vzniku letícího předmětu,
P2 = pravděpodobnost zásahu některého bezpečnostně významného cíle,
P3 = pravděpodobnost vzniku primárního nebo sekundárního poškození s nepřijatelnými důsledky.

Pokud je kterákoliv jednotlivá pravděpodobnost dostatečně malá, je i výsledná pravděpodobnost přijatelná (bezpečně menší než 10^{-6}/rok) a ochrana proti letícím předmětům je dostatečná.

Při výběru havarijních událostí způsobených vnitřními střelami bylo přihlédnuto k aktuálním výsledkům PSA studie EDU. Pro události s nezanedbatelnými následky byly stanoveny zdroje střel a potenciální cíle. Výběr byl proveden na základě znalosti dispozice, orientace a pracovních parametrů zařízení tak, aby řešené problémy byly nejhorší z hlediska ohrožení bezpečnosti elektrárny. Na základě takto stanovených podmínek byla vypočítána celková pravděpodobnost zasažení bezpečnostně významného cíle s nepřijatelnými důsledky.

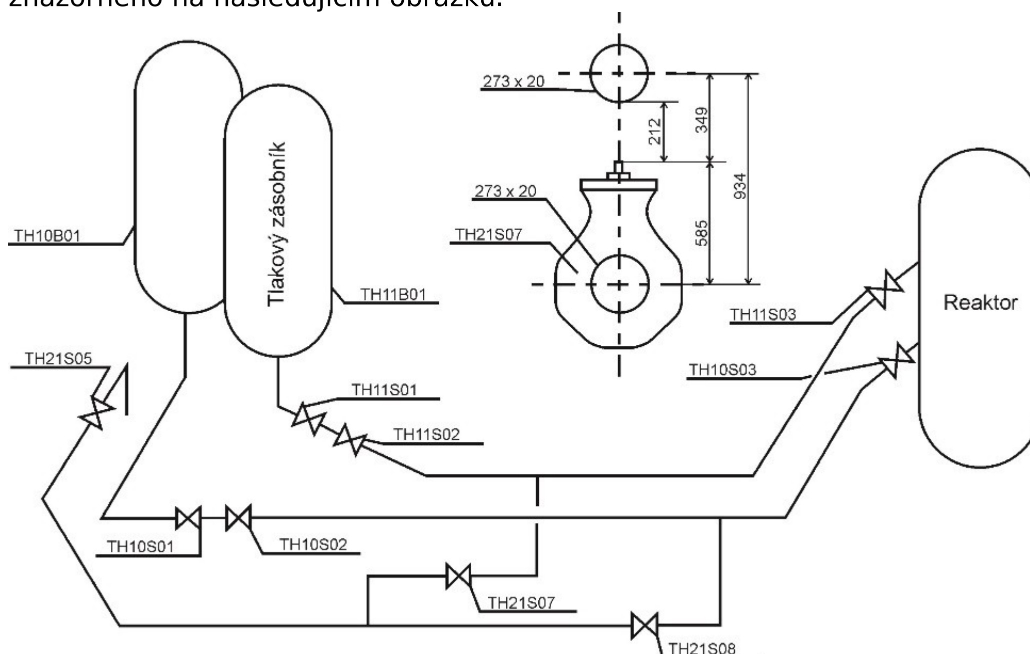
Poznámka: Účinky vnitřních letících předmětů na bariéry jsou obecně úměrné podílu hybnosti letícího předmětu a plochy interakce předmětu s bariérou (bariéra může být součástí sousedního technologického zařízení nebo jde o ochrannou bariéru - např. výstelka a železobetonová stěna hermetických prostorů uvnitř kontejnmentu). Z tohoto důvodu byla v případě porušení tlakových nádob pozornost soustředěna na armatury a nátrubky (velká hmotnost při relativně malé ploše průřezu). V případě letících předmětů generovaných rotačními stroji, jsou svazovány účinky působení odlomených rotujících částí - lopatek a pod.

Letící předměty vznikající uvnitř ochranné obálky

Mezi nejhorší analyzované události z hlediska schopnosti způsobit průraz střelou patří:

- Prasknutí těsnícího prstence zpětné klapky TH21S07 na výtlaku nízkotlakého systému havarijního chlazení aktivní zóny reaktoru v místnosti č. A 201/1,2 a vystřelení horní části.
- Prasknutí těsnícího prstence zpětné klapky TH10S03 na potrubí reaktor - tlakový zásobník (hydroakumulátor) v místnosti č. A 201/1,2 a vystřelení horní části.
- Vystřelení lopatky hlavního cirkulačního čerpadla (HCČ)

  Schématické umístění předmětných komponent (TH21S07 a TH10S03) je znázorněno na následujícím obrázku.



Obr. 23. Dispoziční řešení umístění armatur jako zdroj střel uvnitř kontejnmentu.

První událost byla vybrána z hlediska nejhoršího dopadu na porušení integrity I.O. Vystřelená horní část armatury by poškodila nad ní umístěné potrubí JS 250 mm spojující reaktor a tlakové zásobníky (hydroakumulátory). Vzhledem k porušení potrubí JS 250 mm samotným vystřelením by vznikl únik otvorem ekvivalentního průměru 0,5 m (projektová událost Velká LOCA). Pravděpodobnost vzniku takové střely je dostatečně nízká (nízká generická pravděpodobnost roztržení takového potrubí v kombinaci s činností pouze v případě havárie se ztrátou chladiva), takže i celková pravděpodobnost zasažení bezpečnostně významného cíle s nepřijatelnými důsledky je přijatelná (řád 10^{-8}rok^{-1}).

Druhá událost byla vybrána z hlediska nejhoršího dopadu na porušení těsnosti hermetických prostor. Přes vysoké parametry v tlakové nádobě reaktoru, malé vzdálenosti od cíle a malé rozměry střely nemůže dojít k proražení betonového stropu tloušťky 0,8 m, tvořícího stěnu hermetických prostor. Nepřijatelné následky této události tak nejsou možné.

Vzhledem k bezpečnostnímu významu poškození integrity primárního okruhu je, kromě prasknutí tlakových nádob, třeba zhodnotit i možnost generace střely z rotačních strojů. Jako nejhorší případ bylo uvažováno ulomení lopatky HCČ. Vzhledem k nižší obvodové rychlosti lopatky, dostatečné tloušťce stěny I.O a vodnímu médiu nedojde v případě ulomení lopatky ke generaci střely a lopatka bude unášena proudem média. Lze konstatovat, že EDU není střelami vzniklými z rotačních strojů v hermetických prostorách ohrožena.

Nepřípustným následkem vzniku letících předmětů je dehermetizace hermetické zóny tedy selhání kontejnmentu, ohrožení stabilizace tlaku v kontejnmentu poškozením oddělovacích armatur, neschopnost provozu více než jedné linie bezpečnostních systémů. Z tohoto důvodu jsou bezpečnostní systémy prostorově separované a stěny místností dimenzované na případné projektily, které se mohou v místnostech bezpečnostních systémů nacházet. Bezpečnostně významné zařízení je odolné vůči působení úlomků, které by mohly vzniknout při poruše celistvosti I.O.

- Nádoba reaktoru je umístěna v šachtě s dostatečně silnými stěnami. Také tloušťky stěn skladovacího bazénu vyhořelého paliva a šachty transportního kontejneru jsou dostatečně odolné proti průrazu uvažovanými střelami.
- Hlavní cirkulační potrubí je dostatečně odolné proti případným sekundárním úlomkům (dokonce by odolalo i přímému zásahu střely z libovolného ventilu kromě hlavní uzavírací armatury (HUA)). Rovněž nelze porušit nádobu parogenerátoru případným zásahem sekundárního úlomku (a ani fakticky nemožným zásahem primárního úlomku), protože její stěny mají tloušťku nad 75 mm. Dostatečná je i odolnost důležitých potrubí bezpečnostních systémů TJ, TH a TQ připojených na hlavní cirkulační potrubí (HCP).
- S koncepcí hermetických prostorů uvnitř kontejnmentu souvisí mimo samotného systému hermetických prostor (dostatečně silné stěny proti průrazu, oblicovka stěn) i systém rychločinných oddělovacích armatur kontejnmentu, hermetické průchodky, montážní a osobní prostupy. Rychločinné armatury (RČA) jsou chráněny před letícími úlomky či vodními proudy speciálními stavebními ochrannými bariérami o tloušťce 0,8 m. Protože jsou RČA umístěny co nejblíže ke stěně kontejnmentu, jsou spolu s nimi chráněny i hermetické průchodky potrubí. Osobní prostupy jsou proti uvažovaným střelám dostatečně odolné.
- Náraz střel z ventilů do stěn (stropu) místností hermetických prostor kontejnmentu nezpůsobí jejich vážnější lokální poškození nebo dokonce globální destrukci stavební struktury.

Letící předměty vznikající mimo ochrannou obálku

Největší možnou střelou, vzniklou prasknutím tlakové nádoby mimo hermetické prostory a schopnou zasáhnout bezpečnostně významné cíle, by byla část vzdušníku RČA na POE +14,7 m. V případě prasknutí vzdušníku může dojít k odtržení části materiálu, například pojistného ventilu a k zasažení HPK a parovodů. Vypočítaná výsledná pravděpodobnost poškození tohoto cíle nedává i vzhledem k vyššímu počtu vzdušníků na podélné etažérce (POE) na kótě +14,7 m zanedbatelný výsledek (menší než 10^{-6} rok^{-1}) a je třeba provést rozbor následků prasknutí HPK v důsledku zasažení pojistným ventilem vzdušníku RČA. Takovýto rozbor je proveden v kapitole 15 a nevede k překročení kritérií bezpečnosti.

Letící části turbíny

Vystřelení lopatky posledního stupně nízkotlaké části turbíny Škoda K220-44 bylo analyzováno jako limitní případ vnitřní střely, generované rotujícím strojem na strojovně. Důvodem je orientace turbíny, umožňující zasažení bezpečnostně významných systémů (hlavní parní kolektor (HPK), parovody) úlomky turbíny – lopatkou rotoru, vysoká rychlost otáčení a zkušenosti z provozu turbín. Situace je bezpečnější na lichých blocích než na sudých, kde se turbína v horní části otáčí směrem k reaktoru. Mezi bezpečnostně významné cíle patří HPK a parovody. HPK se nachází u zadní stěny POE +14,7 m. Vzhledem ke stínění HPK technologií, nebude s jistotou v případě vystřelení lopatky turbíny probit. V případě parovodů je situace jiná. Z výsledků stanovení pravděpodobnosti zničení cíle plyne, že lopatka je schopna prorazit maximálně jedno vysokoenergetické potrubí (jeden parovod) a přitom se zcela zbrzdí. Rozbor následků prasknutí parovodu resp. potrubí napájecí vody je proveden v kapitole 15 PpBZ a této Zprávy a nevede k překročení kritérií bezpečnosti. V kap. 15 je proveden i rozbor prasknutí jedné poloviny HPK, i když jeho zasažení letící lopatkou je nepravděpodobné.

Nejhorší případem vnitřní střely by bylo uvolnění turbíny z lože a její pohyb směrem k reaktoru. Tato událost by se týkala pouze 2. a 4. bloku, kde se turbína v horní části otáčí směrem k reaktoru. Z prostorové dispozice strojovny a celého HVB vyplývá, že

potencionálními cíli by byly místnosti rozvaděčů na POE +9,6 m a bloková dozorna na příčné etažérce (PŘE) +9,6 m. Vzhledem k tomu, že taková událost se v historii světové energetiky nevyskytla, je obtížné stanovit bez statistických dat přesnější pravděpodobnost jejího výskytu. Vyjdeme-li z celkového počtu turbín vyrobených firmou Škoda (cca 4000 od roku 1907), průměrné životnosti turbíny (30 let), odhadu pravděpodobnosti roztržení obou ložisek podmíněnou pravděpodobností porušení spojky (10^{-1}) a pravděpodobností selhání uzavření rychlouzávěrů turbíny (10^{-2}), dostaneme pravděpodobnost v řádu 10^{-9} turbina^{-1}.rok^{-1}. Tato pravděpodobnost je dostatečně nízká (menší než 10^{-6} rok^{-1}), aby ji bylo možno z dalších analýz vynechat.

Pozn.: Odhad pravděpodobnosti roztržení jednoho ložiska byl odvozen z údajů o prasknutí věnce lopatek (stalo se 3 krát v historii turbín firmy Škoda). Na základě vyjádření výrobce je současné prasknutí obou ložisek 10krát méně pravděpodobné.

Pády přepravovaných břemen

Hodnocení je zaměřeno na posouzení následků pádu tzv. těžkých břemen. Za těžká břemena jsou považována všechna břemena s hmotností větší než 80 t. Mezi nevýznamnější těžká břemena na reaktorovém sále patří: stínící válec, horní blok a kontejner vyhořelého paliva. Mezi nejvýznamnější těžká břemena na strojovně patří NT rotor a rotor generátoru, i když tyto předměty nedosahují hmotnosti 80 t.

Ochrana proti účinkům pádu přepravovaných břemen je zajišťována organizačním a technickým opatřením: Operace při transportu břemen se řídí provozními předpisy, břemena lze transportovat pouze po vyznačených trasách. Trasy jsou stanoveny tak, aby byl minimalizován transport těžkých břemen nad zařízením v provozu a zakázán nad bezpečnostně významným zařízením. Proti účinkům pádu se používají speciální tlumiče schopné absorbovat kinetickou energii pádu.

3.5.2 Letící předměty vnějšího původu

Letící předměty vznikající při přírodních událostech

K přírodním událostem schopným produkovat letící předměty patří v lokalitě JE Dukovany pouze extrémní vítr. Z kapitoly 3.3 vyplývá, že hodnota 10 000 letého extrému nárazu větru pro lokalitu EDU činí 63,4 m/s. Vítr o této rychlosti není schopen transportovat těžší předměty na větší vzdálenosti a v důsledku zásahu méně hmotnými předměty může dojít pouze k rozbití oken či poškození plášťů budov bez vlivu na jejich integritu a zařízení důležité pro jadernou bezpečnost.

Z analýz účinků tornád na území ČR vyplývá, že tornádo v lokalitě EDU může dosahovat stupně F2 Fujitovy stupnice. Pro takové tornádo jsou potenciální účinky pokryty zatížením přímého extrémního větru s opakovatelností 10 000 let.

Letící předměty vznikající při událostech v okolí EDU

Posouzení rizik vznikajících v důsledku událostí vyvolaných činností člověka v okolí EDU prokázalo, že bezpečnost EDU nemůže být letícími předměty vznikajícími při těchto událostech ohrožena. Mimo letících předmětů, vznikajících v důsledku explozí na silnici II. třídy č. 152 vedoucí v bezprostřední blízkosti lokality JE Dukovany, nemohou předměty z jiných zdrojů zasáhnout lokalitu EDU. Při explozích na silnici č. 152 nevznikají letící předměty dostatečně hybné k tomu, aby mohly dosáhnout hranice technologických budov elektrárny (kontrolně byl počítán případ roztržení autocisterny převážející propan na dva kusy). Při explozích na silnici č. 152 nicméně nelze vyloučit zasažení a poškození venkovních elektrických vedení. Proti těmto událostem je však EDU odolná včetně ztráty všech vnějších zdrojů el. energie (viz kap. 15 Bezpečnostní rozbory PpBZ a této Zprávy).

Byla rovněž posouzena možnost vzniku letících předmětů a jejich následků při událostech uvnitř areálu EDU (výbuchy cisteren přivážejících H_2, pohonné hmoty, výbuchy různých skladů apod.). Bylo prokázáno, že iniciace události je buďto zanedbatelně malá (menší než 10^{-7}/rok) anebo střely vzniklé jako jeden z následků události nejsou schopné poškodit zařízení důležité pro jadernou bezpečnost.

Nebezpečí pádu letadla

Ohrožení jaderného zařízení pádem letadla je dle platné legislativy a mezinárodních předpisů zařazeno do skupiny extrémních vnějších vlivů způsobených lidskou činností. Hodnocení nebezpečí pádu letadla bylo provedeno v souladu s návodem IAEA NS-G-3.1 External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, 2002. Pravděpodobnost rizika pádu letadla na JE se určí jako součin pravděpodobnosti pádu letadla a pravděpodobnosti zásahu bezpečnostně významných stavebních objektů JE. Pravděpodobnost pádu letadla je dána statistikami civilního nebo vojenského letectva pro příslušnou kategorii letecké dopravy. Pravděpodobnost zásahu stavebních objektů je přímo úměrná geometrickým rozměrům objektů. Při hodnocení je třeba uvažovat tyto letecké kategorie:

- dopravní civilní lety,
- sportovní a rekreační civilní lety,
- zemědělské lety pro speciální práce,
- vojenský provoz v omezených prostorech,
- letištní provoz.

Pokud je pravděpodobnost rizika pádu letadla na JE pro jednotlivé kategorie leteckého provozu (a také jejich součet) pod limitní hodnotou 10^{-7} rok^{-1}, pak není v souladu s vyhláškou SÚJB č. 215/1997 Sb. nezbytné jadernou elektrárnu dodatečně chránit proti havárii typu "náraz letadla".

Pro každou z posuzovaných kategorií byla výsledná pravděpodobnost menší než 10^{-7}/rok. Pro součet kategorií však dosahovala výsledná pravděpodobnost $1{,}55.10^{-7}$/rok. Proto bylo ze známých údajů o parametrech skutečně spadlých letadel z uvedených kategorií stanoveno tzv. návrhové letadlo (hmotnost: 1850 kg, dopadová rychlost: 56 m/s), pro které výsledná pravděpodobnost pádu představuje právě 10^{-7}/rok a pro které by mělo být provedeno deterministické hodnocení následků pádu.

Pro vlastní deterministické hodnocení byl konzervativně zvolen typ letounu Cessna 210 s parametry celková hmotnost: 2000 kg, dopadová rychlost: 100 m/s, objem neseného paliva při dopadu: 400 l. Hodnocení bylo zaměřeno na průkaz toho, zda po události bude možné:

- reaktor bezpečně odstavit a udržovat v podkritickém stavu,
- odvádět zbytkový výkon po dostatečně dlouhou dobu,
- případné radioaktivní úniky udržovat pod mezními hodnotami, stanovenými pro lokalitu EDU.

Při bezpečnostním rozboru pádu posuzovaného letadla se uvažovalo i riziko požáru po vylití paliva. Z výsledků hodnocení vyplynulo, že pád návrhového letadla (Cessna 210) na budovu hlavního výrobního bloku (HVB) nebo na ostatní bezpečnostně významné objekty neohrozí jadernou bezpečnost jednotlivých bloků a základní bezpečnostní funkce jaderného zařízení budou plněny.

3.6 Ochrana proti dynamickým vlivům způsobeným postulovaným roztržením potrubí

Postulované roztržení potrubí je definováno jako náhlé celkové selhání tlakové hranice ve formě kompletního obvodového roztržení (tzv. Guillotine break) průřezů potrubí v místě postulovaných roztržení nebo podélného (osového) roztržení bez oddělení (separování) potrubí. Roztržení potrubí se postuluje při normálních provozních podmínkách elektrárny, resp. během seismické události, přičemž seismická událost neiniciuje samotné roztržení. Největší riziko roztržení potrubí je u tzv. vysokoenergetických potrubí. Za vysokoenergetické potrubí se považuje takové, v němž se za normálních provozních podmínek vyskytuje tlak média $p > 2$ MPa nebo teplota média $t > 100$°C.

Přestože jsou potrubní systémy jaderné elektrárny navrhovány a konstruovány podle normativně technické dokumentace, jejíž dodržení by mělo zajistit integritu potrubního systému po celou dobu projektované životnosti, je požadováno provést hodnocení událostí spojených s postulovaným roztržením potrubí. V současnosti se při hodnocení roztržení obvykle postupuje dvěma cestami:

- První cestou je aplikace koncepce LBB (Leak Before Break - tedy malý únik před roztržením), když pomocí diagnostického systému a analýz vyloučíme vznik možného roztržení. Diagnostický systém odhalí tvořící se vadu dříve, než dosáhne velikosti, která by při výskytu nejhoršího možného zatížení potrubního systému způsobila jeho úplné roztržení.
- Druhou cestou je hodnocení jednotlivých účinků postulovaného roztržení s cílem prokázat možnost bezpečného odstavení a udržování odstaveného reaktoru v bezpečném stavu i v případě postulovaného roztržení potrubního systému.

Pro obě metody byla na EDU zpracována řada analýz, na základě kterých byl proveden rozbor obou přístupů. Vzhledem k tomu, že obě koncepce jsou z hlediska zajištění JB rovnocené a koncepce LBB je finančně nákladnější a obtížně aplikovatelná na některé potrubní menších průměrů, bylo rozhodnuto uplatnit v EDU koncepci hodnocení účinků postulovaného roztržení. Předpokládá se, že místa poškození jsou určeny místním stavem napětí a únavy. Porušení je postulované v následujících místech:

- na začátku a konci potrubí,
- v místech, kde očekáváme zvýšené zatížení a únavové poškození, to jsou komponenty, ventily, příruby a přivařené součásti apod.,
- v místech, kde je kumulace únavového poškození,
- v příčných řezech, kde je větší hodnota napětí.

Pro detailní určení míst roztržení potrubí bylo nutné provést únavové a napěťové analýzy. Roztržení potrubí je nutné postulovat především v tzv. kotvících bodech, jako jsou svary s průchodkami, svar s nátrubky zařízení nebo s kolektory. V jednotlivých místech postulovaného roztržení se provede hodnocení účinků postulovaného roztržení (účinku švihnutí potrubí), aby bylo zajištěno bezpečné odstavení a udržování odstaveného reaktoru v bezpečném stavu.

Pokud se zjistí nepřijatelné účinky, provede se ochrana důležitých systémů, případně jednotlivých zařízení proti poškození prostřednictvím bariér (omezovače švihu, stavební bariéry) nebo jiným přijatelným způsobem, např. jejich oddělením (redundance bezpečnostních systémů). Hlavní vysokoenergetická potrubí jsou vybavena omezovači švihu, které dokážou zastavit pohyb potrubí změnou jeho kinetické energie na deformační, čímž brání zasažení možných bezpečnostních cílů. Bezpečnostní systémy jsou provedeny s redundancí 3x100 %, která zaručuje splnění bezpečnostní funkce i v případě jednoduché poruchy roztržení potrubí jednoho systému.

3.6.1 Určení míst roztržení a dynamických vlivů způsobených postulovaným roztržením potrubí

Potrubí BT1 uvnitř hermetické zóny

Legislativním základem pro hodnocení účinků postulovaného roztržení potrubí je US NRC Standard Review Plan 3.6.1 a 3.6.2 spolu s tzv. US NRC Generic Letter 87-11. Při postulování míst roztržení se vychází z potrubních výpočtů provedených výpočtovým programem PIPESTRESS splňujícím požadavky ASME, ANSI a dalších evropských norem. Výsledkem výpočtů je stanovení napětí, které je následně porovnáno s limitami, odpovídajícími jednotlivým mezním stavům, obsaženými v ASME Code. Z mírného překročení limitu rozkmitu napětí (pozn.: únavové poškození překročeno nebylo) vyplynulo, že roztržení je nutné postulovat na první, čtvrté a šesté smyčce v následujících místech:

I. na smyčce 1
   A. na konci kolene pod PG na horké větvi bližším PG
   B. v obou odbočnicích ke KO na horké větvi
   C. v konci druhého kolene pravé větve KO, počítáno od PO
   D. v připojení trojníku pod KO k levé větvi KO
II. na smyčce 4
   A. v odbočnici NT SAOZ na horké větvi
III. na smyčce 6
   A. na konci kolene pod PG na horké větvi bližším PG

Současně je nutné postulovat roztržení v koncových bodech HCP a potrubí ke KO, které představují místa:

- připojení k nátrubkům tlakové nádoby reaktoru (TNR),
- připojení k nátrubkům PG,
- připojení k nátrubku KO.

Pro takto postulovaná místa roztržení, v nichž pro standartní potrubní výpočty bylo překročeno napěťové kritérium, bylo provedeno detailní konečně prvkové hodnocení napjatosti. Z vypočtených špičkových maximálních napětí vyplynulo, že hodnocení účinků postulovaného roztržení je nutné provádět pouze pro místa, která představují koncové body hodnocených potrubních systémů. Jedná se o následující části potrubí:

- svar nátrubku TNR s potrubím studené větve,
- svar nátrubku PG s potrubím studené větve,
- svar nátrubku PG s potrubím horké větve,
- svar na nátrubku KO.

Potrubí páry a napájecí vody uvnitř hermetické zóny

Hodnocení postulovaného roztržení potrubních systémů páry a napájecí vody uvnitř kontejnmentu bylo provedeno podle normy ANSI. I když může být roztržení potrubí způsobeno náhodnou událostí, vzniklou z neočekávaných podmínek, norma předpokládá pro libovolný mechanismus poškození, že místa poškození jsou určena místním stavem napětí a únavy. Porušení je postulováno v následujících místech:

- na začátku a konci potrubí,
- v místech, kde očekáváme zvýšené zatížení a únavové poškození, což jsou komponenty, ventily, příruby a přivařené součásti apod.,
- v místech, kde kumulace únavového poškození překročí hodnotu 0,4,
- v příčných řezech, kde napětí σ přesáhne maximální přípustnou hodnotu stanovenou s bezpečnostní rezervou.

Hodnocení únavového poškození v místech postulovaného roztržení ukázalo, že v žádném místě potrubí nebyla překročena hodnota kumulace únavového poškození 0,1. Neexistuje tedy místo na potrubí páry a napájecí vody, kde by bylo na základě této podmínky nutné postulovat roztržení potrubí.

Na základě hodnocení velikosti osových napětí (hodnocen byl vždy řez s maximálním napětím v režimu normální provozní podmínky a maximální výpočtové zemětřesení) lze konstatovat, že potencionální místa roztržení jsou pouze tzv. kotvící body:

- svary s průchodkami,
- svar s nátrubkem napájecí vody parogenerátoru,
- svar s kolektorem páry.

Potrubí vně hermetické zóny

Napěťová analýza potrubí napájecí vody ukázala, že k překročení některého z napěťových kritérií dochází v 8 odbočnicích. Současně je nutné postulovat roztržení v 6 kotvících bodech. Následující tabulka určuje místa postulovaného roztržení potrubí napájecí vody na podlaží + 14,7 m, pro které je nutné provést hodnocení odolnosti vůči následkům postulovaného roztržení potrubí:

- odbočnice k malé napájecí hlavě do PG1,2,3,4,5,6 (6x),
- odbočnice k levému havarijnímu napájení (1x),
- odbočnice k pravému havarijnímu napájení (1x),
- kotvení v průchodce k PG1,2,3,4,5,6 (6x).

Napěťová analýza potrubí páry ukázala, že k překročení některého z napěťových kritérií dochází v 5 odbočnicích. Současně je nutné postulovat roztržení v 6 kotvících bodech. Následující tabulka určuje místa postulovaného roztržení potrubí páry na podlaží + 14,7 m, pro které je nutné provést hodnocení odolnosti vůči následkům postulovaného roztržení potrubí:

- odbočnice k pojišťovacím ventilům na parovodu PG2 (1x),
- odbočnice k pojišťovacím ventilům na parovodu PG5 (1x),
- odbočnice z HPK na redukční stanice dochlazování (1x),
- odbočnice pravé přepouštěcí stanice do atmosféry (PSA) (1x),
- odbočnice levé PSA (1x),
- kotvení v průchodce k PG1,2,3,4,5,6 (6x).

3.6.2 Hodnocení odolnosti vůči následkům dynamických vlivů způsobených roztržením potrubí

Hodnocení účinků roztržení potrubí HCP

V místě roztržení potrubí dochází k úniku média, které na potrubí působí reaktivní silou, závislou na parametrech unikajícího média. V případě obvodového roztržení potrubí způsobí reaktivní síly vyvolané tryskajícím médiem rozsáhlé pohyby roztrženého potrubí, které jsou výstižně nazývány švihem potrubí. Během švihu mohou být kromě samotného potrubí poškozeny nosné konstrukce a ostatní zařízení. Také mohou nastat jevy jako vznik střel nebo roztržení dalších potrubí následované jejich vlastním švihem.

Hodnocení odolnosti vůči následkům roztržení a švihům potrubí se zaměřuje na konstatování, zda je zajištěno bezpečné odstavení a udržování odstaveného reaktoru v bezpečném stavu. Při hodnocení švihů potrubí se hodnotí také funkčnost a pevnost systémů omezovačů švihnutí. Omezovače švihnutí zabraňují nepříznivým účinkům roztržení potrubí tím, že pohyb potrubí zastaví a zabrání tak zasažení možných cílů. Hodnocení ukázalo, že stávající systém omezovačů HCP a potrubí ke KO je funkční a dosahuje vyhovujících výsledků.

Analýzami byla ve všech případech prokázána přijatelnost účinku švihnutí potrubí v důsledku jeho postulovaného roztržení. Maximální hodnoty plastické deformace ve všech případech na celém potrubí a omezovačích švihu nepřekročily povolené hodnoty. Švihající potrubí se ve všech případech podařilo zachytit a stabilizovat. Dalším významným přínosem je výrazné zmenšení sil a momentů působících na stavební konstrukci.

Součástí hodnocení bylo posouzení účinků tryskajícího média v místech postulovaného roztržení potrubí. Byly stanoveny silové účinky tryskajícího média v závislosti na vzdálenosti od místa úniku a zhodnocen dopad na bezpečnostně významná zařízení. Z provedených prací vyplývá, že JE Dukovany požadavek na přípustnost účinků tryskajícího média z hlediska jaderné bezpečnosti splňuje.

Hodnocení účinků roztržení potrubí páry a napájecí vody mimo kontejnment

Na základě znalosti míst postulovaného roztržení bylo rozhodnuto provést lineární dynamickou analýzu švihu potrubí pro několik vybraných míst pomocí programu PIPESTRESS. Jedná se o horizontální a vertikální odbočnice obtoků napájecích hlav, odbočnice levého a pravého havarijního potrubí na napájecí vodě a odbočnice pojišťovacích ventilů na páře. Ve všech těchto místech se předpokládá odtržení odbočky, která nemá dostatečný zdroj média z důvodu jejího uzavření a malého objemu média od odbočky k uzavření. Proto není předpoklad švihu odbočky, pouze zatížení hlavní části odbočnice. Výpočet zatížení prokázal, že potrubí není přetíženo a nosnost podpor a závěsů není překročena.

Postulovaná místa kotvení v hermetických průchodkách a na HPK byly vybaveny omezovači švihu. Jedná se o:

I. Roztržení v hermetických průchodkách
   - Hermetické průchodky potrubí páry
   - Hermetické průchodky potrubí napájecí vody

II. Místa roztržení v T-kusech hlavního parního kolektoru
   - T-kus k redukční stanici dochlazování
   - Čtyři T-kusy k levé a pravé přepouštěcí stanici do atmosféry tzv. PS-A nebo rovněžněkdy označované jako BRUA

Omezovače švihu zachycující dynamické účinky v místech postulovaného roztržení potrubí. V případě gilotinového roztržení omezovače zachycující volné konce potrubí tak, aby nedošlo k jejich oddělení a tím k ohrožení integrity okolních zařízení. Současně zabraňují poškození okolního zařízení v důsledku přímého působení tryskajícího media a letících úlomků. Během normálních provozních podmínek omezovače švihu neomezují teplotní dilataci potrubí ani nevyvolávají další přídavná namáhaní.

Aby se zabránilo nepřijatelným účinkům následků roztržení vysoko-energetického potrubí, je technologie v potrubním prostoru PoE +14,7 m (m. č. 425) rozdělena do dvou symetrických částí jako jsou polokolektory páry a napájecí vody. Ke každé polovině patří 3 parogenerátory včetně parovodů a potrubí napájecí vody. Tím je zajištěna redundance a prostorové oddělení jak při prasknutí parovodu tak potrubí napájecí vody. V případě prasknutí příslušného potrubí je porušený parogenerátor oddělen a bezpečnostní funkce odvodu zbytkového tepla zajištěna prostřednictvím „zdravých“ PG.

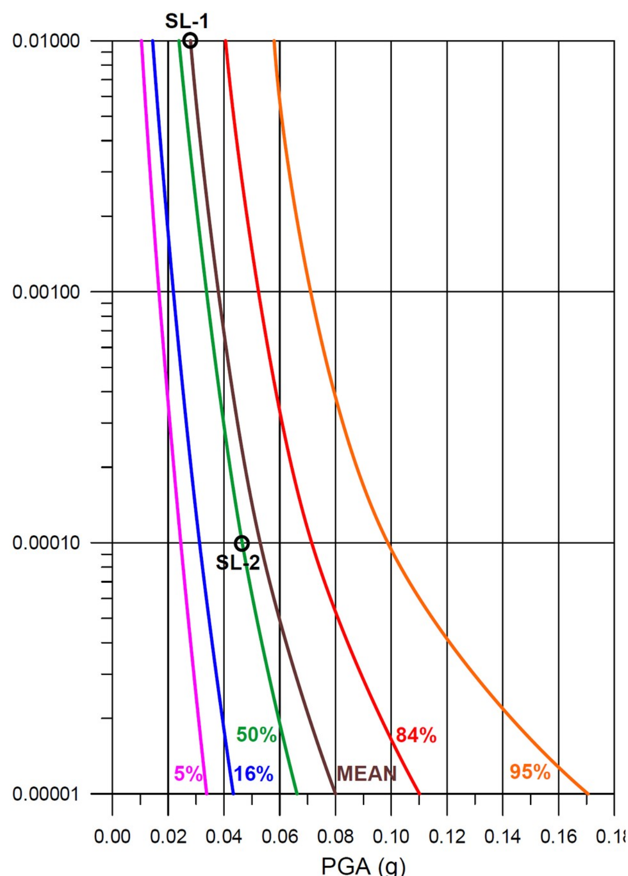
3.7 Ochrana proti zemětřesení

Původní projekt EDU vycházel z ČSN 730036 „Seismická zatížení staveb“. Pro lokalitu EDU byla stanovena hodnota intenzity maximálního výpočtového zemětřesení MVZ (SSE, SL2) = 6° MSK-64, která byla pro ověřovací výpočty vzhledem ke skalnímu podloží korigována v souladu se sovětskou normou VSN 15-78 na MVZ = 5° MSK-64 a úroveň projektového zemětřesení PZ = 4° MSK-64. Pro takovou hodnotu intenzity zemětřesení byly v 80. letech provedeny ověřovací výpočty seizmické odolnosti staveb a komponent, které uvažovanému zatížení vyhověly. Seizmické riziko lokality bylo na základě pozdějších prací v 90. letech přehodnoceno na hodnotu MVZ = 6,5° MSK-64 a PZ = 6° MSK-64.

V roce 1995 bylo misí IAEA, v souladu s bezpečnostním návodem 50-SG-S1 (IAEA, 1991), doporučeno používat jako minimální hodnotu seismického zatížení pro lokalitu EDU hodnotu referenčního zemětřesení (SME_R, RLE) s horizontální složkou špičkového zrychlení půdy PGA_{hor} = 0,1 g a vertikální složkou špičkového zrychlení půdy PGA_{ver} = 0,067 g při četnosti výskytu 10^{-4} za rok. Uvedeným hodnotám odpovídá zemětřesení o intenzitě 7° MSK-64. Projektové zemětřesení (PZ) je pro EDU definováno polovičními hodnotami PGA a 6° MSK-64. Tyto hodnoty byly a zústávají východiskem pro nové seismické zadání a veškeré stavební objekty a technologické zařízení, s požadavkem seismické odolnosti, byly na tyto hodnoty zodolněny.

Revize seismického ohrožení lokality EDU provedená v roce 2005 byla provedena v souladu s bezpečnostním návodem IAEA NS-G-3.3 Evaluation of seismic hazards for nuclear power plants, 2002. Z důvodu zvýšení hodnověrnosti a reálnosti výsledků byly při výpočtu použity tři metody - pravděpodobnostní, deterministická a bezzónová. Výsledkem byla hodnota MVZ (SSE, SL2) pro lokalitu EDU, která neměla být překročena v časovém intervalu 10 000 let s pravděpodobností ≥ 0,95, zrychlení SL2 = 0,06 g. Úroveň projektového zemětřesení SL-1 byla odvozena v úrovni intenzity 6° makroseismické stupnice MSK-64 a zrychlení SL1 = 0,05 g s 90 % pravděpodobností nepřekročení v časovém úseku 105 let, pro periodu návratu 1000 let.

Poslední přehodnocení seismického ohrožení lokality EDU bylo provedeno v r. 2015 v souladu se standardy IAEA NS-R-3 a SSG-9 Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations (2010) za použití pravděpodobnostního přístupu (PSHA - Probabilistic Seismic Hazard Assessment). Vstupem pro hodnocení byly výsledky rozsáhlého geologického a paleoseismologického výzkumu, který se prováděl v r. 2014 v regionu i užší lokalitě EDU. Na základě výsledků výzkumu byl aktualizován seismotektonický model, kde byly zahrnuty všechny známé zdrojové oblasti (zlomy) i oblast difúzní seismicity (mimo zlomy). Výsledek pravděpodobnostního výpočtu vyjadřujeme ve formě pravděpodobnostních křivek seismického ohrožení (PSHC - Probabilistic Seismic Hazard Curves):



Obr. 24. Pravděpodobností křivky seismického ohrožení pro lokalitu EDU

Na křivkách PSHC jsou kroužky vyznačeny obě úrovně seismického ohrožení, které jsou v grafu interpretovány následovně:

SL1 je průměrná hodnota špičkového zrychlení při zemětřesení, která nastane průměrně jednou za 100 let. Tato hodnota tedy s velkou pravděpodobností nastane během životnosti elektrárny. Pro EDU je podle pravděpodobnostního výpočtu SL1 = 0,028 g, kde g je gravitační zrychlení 9,81 m/s^2.

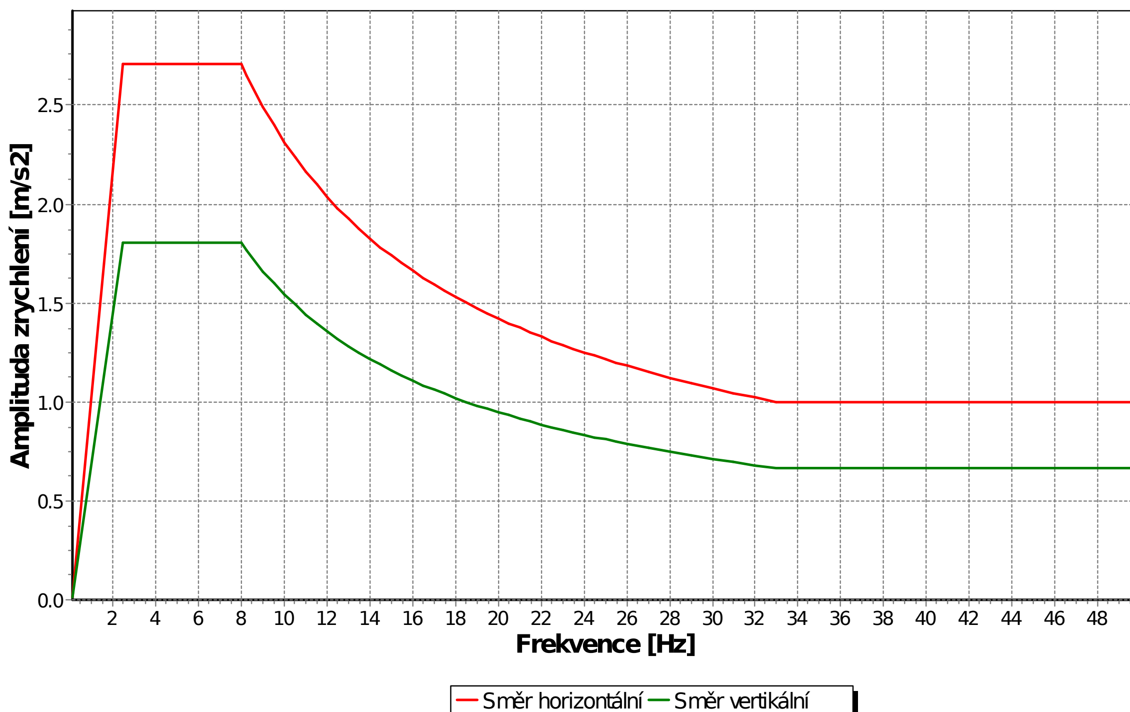
SL2 je medián špičkového zrychlení při zemětřesení, které nastane průměrně jednou za 10 000 let. S touto hodnotou se tedy s velkou pravděpodobností elektrárna během své životnosti nesetká, ale je třeba, aby na ní byla připravena. Pro EDU je podle našeho výpočtu: SL2 = 0,047 g.

Vypočtené hodnoty SL1 = 0,028 g a SL2 = 0,047 g jsou v souladu s předchozími studiemi i s výsledky mezinárodního projektu SHARE, který však počítal seismické ohrožení pouze pro desetiprocentní překročení během 50 let (návratová doba 475 let).

3.7.1 Seismická vstupní data

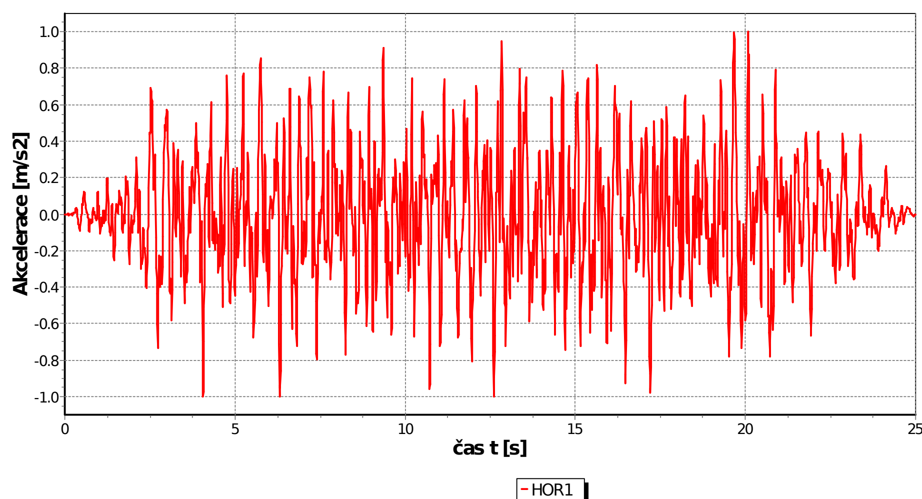
V souladu s požadavky IAEA je pro hodnocení seizmické odolnosti stavebních konstrukcí a technologického zařízení kategorie S resp.1 pro EDU definováno tzv. referenční zemětřesení RLE = SME_R, které je charakterizováno následujícími parametry:

- úrovní horizontálního špičkového zrychlení o hodnotě $PGA_{RLE,HOR}$ = 0,10 g (1,0 m/s^2)
- úrovní vertikálního špičkového zrychlení o hodnotě $PGA_{RLE,VERT}$ = 0,067 g (0,67 m/s^2)
- seizmickými spektry odezvy absolutního zrychlení pro skalní podloží a modální útlum 5 % pro horizontální a vertikální směr

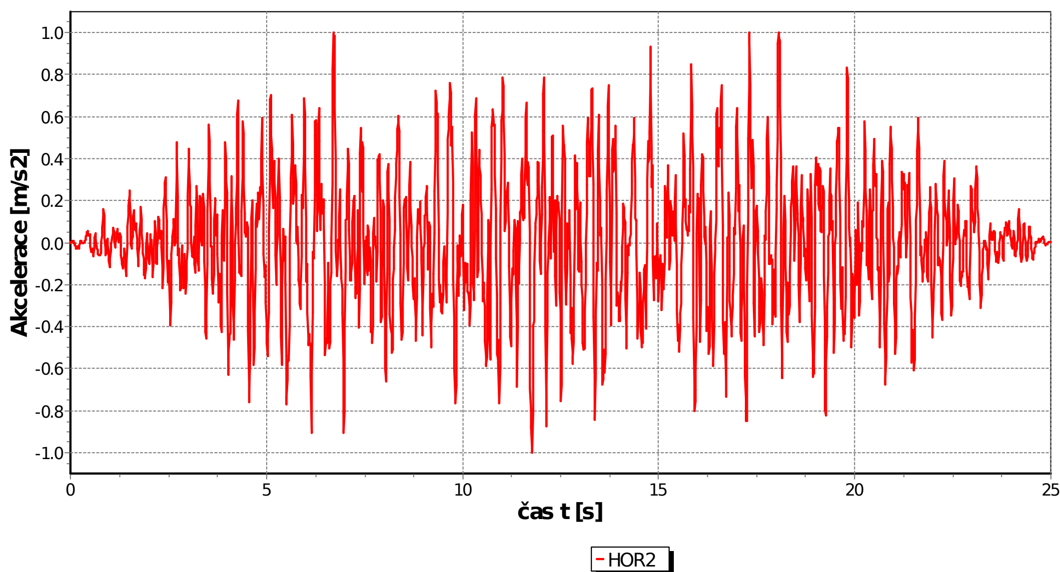


Obr. 25. Seismická spektra odezvy v úrovni terénu pro lokalitu EDU

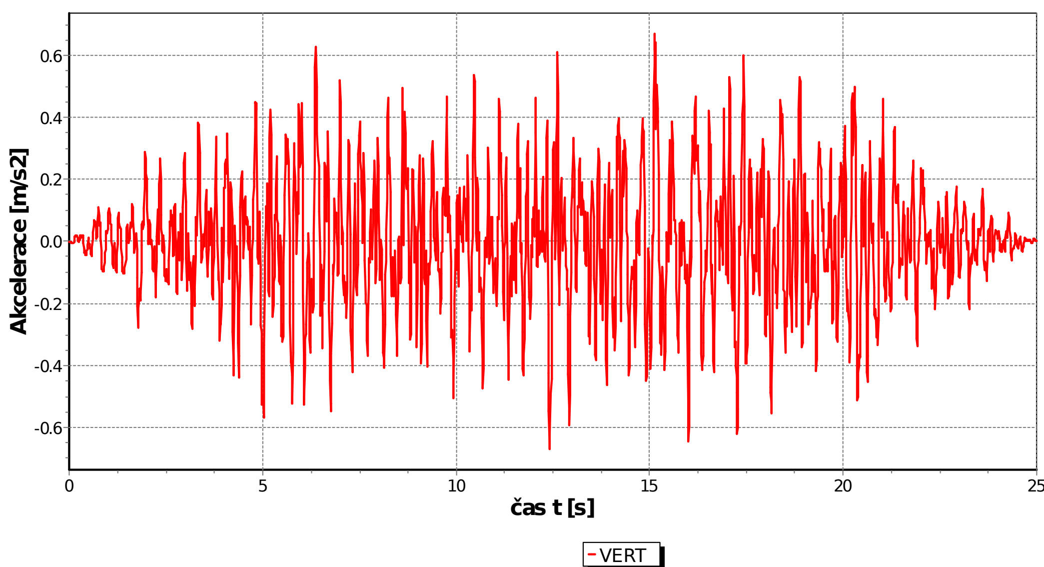
Pro výpočet seismických podlažních spekter odezvy nelze přímo použít spektra odezvy v úrovni terénu, neboť dynamický výpočet odezvy konstrukce budovy na seismický pohyb podloží je v tomto případě třeba provést metodou integrace pohybových rovnic v čase. Vstupní veličinou pro výpočet odezvy jsou syntetické akcelerogramy, které popisují pohyb podloží ve třech ortogonálních směrech (horizontální HOR1, horizontální HOR2 a vertikální VERT) a které jsou kompatibilní s podkladovými spektry odezvy v úrovni terénu. Tyto akcelerogramy, jsou navzorkovány s časovým krokem 0.01 s hlavní fáze seismického buzení má délku 15 s (v tomto intervalu dosahují špičkové akcelerace hodnoty PGA).



Obr. 26. Syntetický akcelerogram HOR1 pro lokalitu EDU



Obr. 27. Syntetický akcelerogram HOR2 pro lokalitu EDU



Obr. 28. Syntetický akcelerogram VERT pro lokalitu EDU

Seismická podlažní spektra odezvy se používají pro seizmické výpočty stavebních konstrukcí a technologických zařízení. Podlažní spektra odezvy se vypočtou v několika vybraných bodech na každém podlaží budovy, kde je umístěno technologické zařízení, které musí být seizmicky odolné. Dále se vypočte obal těchto seizmických podlažních spekter odezvy tak, aby pravděpodobnost nepřevýšení obalu některým z dílčích spekter byla 84 % (medián + směrodatná odchylka). Takto získaná spektra odezvy se používají jako referenční pro zadání výpočtů seismické odolnosti zařízení umístěného na jednotlivých podlažích.

V seizmických výpočtech stavebních konstrukcí EDU se použije medián hodnoty útlumu kmitání charakterizovaný poměrným útlumem vyjádřeným v procentech kritického útlumu. Typické hodnoty tlumení stavebních konstrukcí EDU jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 28. Hodnoty útlumu kmitání stavebních konstrukcí EDU.

Konstrukce	Útlum v % kritického útlumu
Šroubované ocelové konstrukce	7 %
Svařované ocelové konstrukce	5 %
Monolitické i prefabrikované železobetonové konstrukce	7 %
Konstrukce z předpjatého betonu	5 %

3.7.2 Seizmické výpočty stavebních konstrukcí a technologického zařízení

Pro určení hraniční seismické odolnosti stavebních konstrukcí a také technologického zařízení byla použita metoda SMA (Seismic Margin Assessment), speciálně její varianta, která je známa pod zkratkou CDFM (Conservative Deterministic Failure Margin) a spočívá v určení tzv. HCLPF (High Confidence Low Probability of Failure) hodnot její hraniční seismické odolnosti.

HCLPF hodnota hraniční seismické odolnosti je vztažena ke špičkovému zrychlení na úrovni terénu (PGA) pro danou úroveň zemětřesení (RLE) a je matematicky definována jako 95% jistota, že k porušení v důsledku zemětřesení, které se nazývá SME (Seismic Margin Earthquake), dojde v méně než 5% případů. Požadavkem je, aby SME bylo větší, nebo alespoň rovné RLE, tj. aby HCLPF hodnoty hraniční seismické odolnosti byly větší, nebo alespoň rovné jako PGA_{RLE}.

Mezi hlavní postupové kroky pro hodnocení seizmické odolnosti EDU patřilo:

- vytvoření metodologie včetně upřesnění SME_R (RLE) vzhledem k požadované hranici seizmické odolnosti JE,
- vymezení rozsahu stavebních konstrukcí a technologického zařízení EDU, jehož hraniční seizmickou odolnost je třeba určit (provedení seizmické kategorizace),
- shromáždění dokumentace pro hodnocení seizmické odolnosti včetně výpočtů a analýz a založení databáze seizmické odolnosti konstrukcí a komponent, jež musí být seizmicky odolné,
- inspekce na místě s cílem ověření rozsahu konstrukcí a zařízení (jejichž hraniční seizmickou odolnost je třeba určit) a ověření jejich skutečné seizmické odolnosti (inženýrský odhad, posouzení degradačních vlivů stárnutí, koroze, eroze, dále ověření upevnění a kotvení aparátů do stavby atd.),
- seizmické výpočty všech bezpečnostně významných stavebních konstrukcí včetně vygenerování podlažních spekter odezvy a určení HCLPF hodnot hraniční seizmické odolnosti,
- seizmické výpočty a určení HCLPF hodnot hraniční seizmické odolnosti všech bezpečnostně významných komponent technologického zařízení EDU,
- doporučení zodolnění některé konstrukce a komponenty zařízení, pokud by HCLPF hodnota hraniční seizmické odolnosti hodnoceného zařízení byla nižší PGA_{RLE} = 0.10 g ve vodorovném směru,
- opakované určení HCLPF hodnot hraniční seizmické odolnosti pro ty stavební konstrukce a komponenty technologického zařízení, pro které byla provedena seizmická zodolnění,
- určení výsledné seizmické odolnosti bloků EDU na základě dílčích hodnot hraniční seizmické odolnosti jednotlivých konstrukcí a komponent (musí být větší než PGA_{RLE} = 0,1 g).

Všechny stavební konstrukce a technologická zařízení EDU, pro které byla požadovaná seismická odolnost, byly výše uvedeným postupem prověřeny a mají

vyhovující seismickou odolnost minimálně do úrovně $PGA_{RLE,HOR}$ = 0,1 g (horizontální zrychlení na úrovni terénu odpovídající referenčnímu zemětřesení). Jednotlivé výsledky hodnocení jsou uvedeny ve zprávách o seizmické odolnosti konstrukcí a komponent zařízení, které jsou součástí jejich průkazné dokumentace. Vybraný rozsah zařízení a prvků byl prověřen provedením typové kvalifikační zkoušky. Výsledkem tohoto procesu jsou záznamy průběhů kvalifikačních zkoušek a vyhovující kvalifikační protokoly, které stvrzují funkčnost a seismickou odolnost zařízení. U nově dodávaného zařízení je průkaz plnění kvalifikačních požadavků součástí průvodní kvalifikační dokumentace zařízení. Průkazná dokumentace včetně kvalifikačních protokolů je v tištěné podobě uložena v centrálním archívu EDU a tvoří doklad o vyhovující seizmické odolnosti technologického zařízení a stavebních konstrukcí EDU.

3.7.3 Seizmická instrumentace

Vnitřní seizmická monitorovací síť

Seismickou instrumentaci EDU tvoří vnitřní a vnější monitorovací systém. Vnitřní seismický monitorovací systém zajišťuje následující funkce:

- monitorování a vyhodnocování každé seizmické události v EDU s kontrolou převýšení projektového zemětřesení (PZ),
- 2 - stupňovou signalizaci („Zemětřesení“ a „Překročeno projektové zemětřesení“) na BD a počítačové sítě NLAN,
- sběr a archivaci dat o zemětřesení.

Princip fungování systému spočívá v analýze změřených časových průběhů absolutního zrychlení pomocí 3 kusů tříosých snímačů zrychlení (akcelerometrů):

- snímač ve volném terénu (free-field) umístěný v novém stavebním objektu na rostlé skále mezi BAPP č. 1 a Kyslíkovým hospodářstvím,
- snímač na podlaží - 6,5 m reaktorovny pro záznam pohybu základů reaktorové budovy,
- snímač na stěně postamentu reaktorového sálu (+19,9m) pro záznam pohybu na nejvíce reprezentativním podlaží reaktorové budovy.

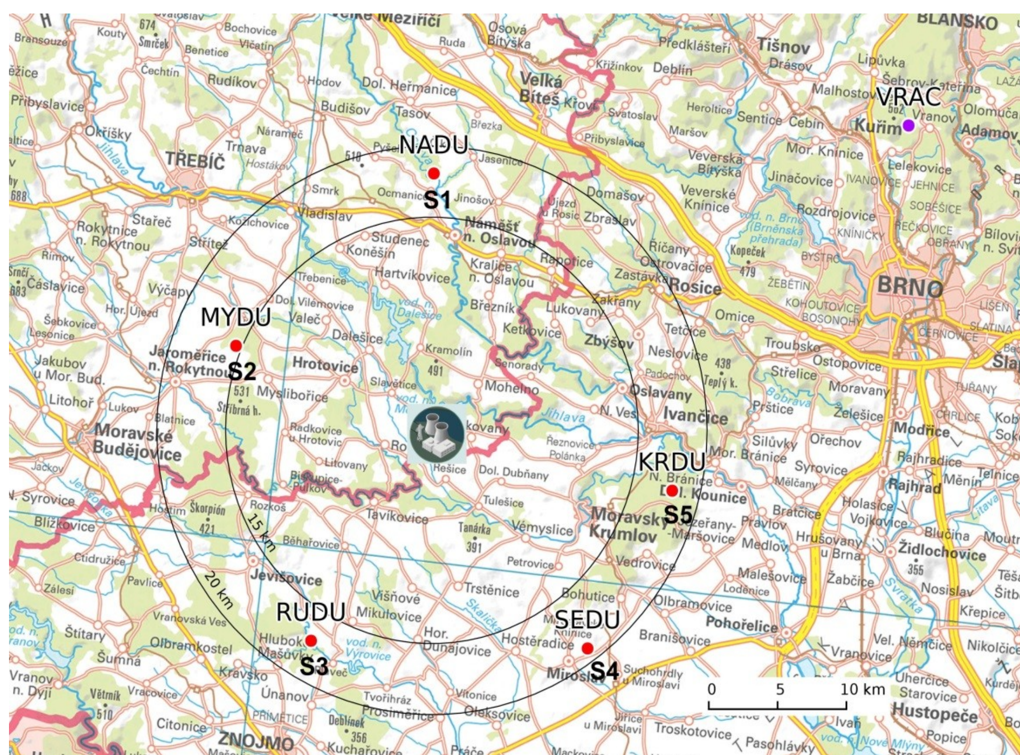
Současně s instalací vnitřního seismického monitorovacího systému byl zpracován provozní předpis pro operativní personál BD. Předpis obsahuje návod rychlé kontroly vybraných konstrukcí a komponent po zemětřesení s cílem vyhodnocení seizmického poškození a další postupy v závislosti na vyhodnocené úrovni zemětřesení.

Vnější seizmická monitorovací síť

Pro podrobné monitorování seismické aktivity v okolí EDU slouží monitorovací síť tvořená 5 seismickými stanicemi, které jsou schopny spolehlivě lokalizovat zemětřesení s lokálním magnitudem 1-3. Stanice splňují požadavky návodů IAEA NS-G-3.3 a SSG-9. Vnější seismické monitorovací síť je složena z následujících stanic:

- NADU v katastru obce Naloučany,
- MYDU v katastru obce Myslibořice,
- RUDU v katastru obce Rudlice,
- SEDU v katastru města Miroslav,
- KRDU v katastru města Moravský Krumlov.

Stanice vykonávají sběr, zpracování, vyhodnocení a archivaci seismologických dat zaregistrovaných seismologickou sítí monitorující okolí EDU.



Obr. 29. Umístění stanic vnější seismické monitorovací sítě EDU

Dále je v blízkosti vesnice Biskoupky cca 8 km severo-východně od JE umístěna starší stanice Kozének, lokální seizmický jev prokazatelně přírodního původu nebyl od 9. 4. 1998 na stanici zaznamenán.

3.8 Konstrukce staveb kategorie I

Tato kapitola obsahuje základní informace o stavebních objektech elektrárny, které jsou významné z hlediska jaderné bezpečnosti. Nejedná se tedy o popis všech objektů v areálu jaderné elektrárny. Výběr objektů významných pro jadernou bezpečnost vychází z bezpečnostního třídění staveb, systémů a komponent elektrárny. Jsou to stavební objekty a konstrukce, které se podílejí na zajištění základních bezpečnostních funkcí jaderných bloků, které jsou definovány v kapitole 1.2.3 této zprávy. Tyto funkce byly pro praktickou aplikaci pro kategorizaci stavebních objektů a technologických zařízení dále rozčleněny na následující bezpečnostní funkce:

- odstavení reaktoru a zajištění podkritičnosti
- zajištění odvodu zbytkového tepla
- dochlazení reaktoru na 60 °C
- zajištění integrity primárního okruhu
- zajištění integrity sekundárního okruhu v rozsahu potřebném pro dochlazení
- zabránění úniku radioaktivních látek

Stavební objekty významné z hlediska jaderné bezpečnosti, musí být navrženy jako odolné na zatížení vnějšími extrémy přírodního původu (seismicita, klimatické vlivy) i na mimořádné účinky vyvolané činností člověka v areálu elektrárny a v okolí (toxické látky, radioaktivní látky, účinky explozí, požáry, pád letadla, …) Jedná se o účinky s nízkou pravděpodobností výskytu, definované dle předpisů pro navrhování jaderných elektráren. Jedním z nejzávažnějších vlivů, který může postihnout v jednom okamžiku všechny systémy elektrárny, je seismická událost. Pro návrh bezpečnostně významných staveb se uvažuje se seismickou událostí, která se může vyskytnout jednou za 10 000 let. Proto se tato skupina bezpečnostně významných staveb označuje celá jako stavby 1. Kategorie seismické odolnosti, i když kromě seismicity je vyžadována odolnost i proti řadě dalších vnějších vlivů, které jsou pro lokalitu definovány.

Tab. 29. Stavební objekty 1. kategorie seismické odolnosti v ČEZ-EDU

Stavební objekt	
Číslo	**Název**
800/1-01, 02	Budova reaktorů HVB I, II
805/1-01, 02	Prostory elektrického zařízení podélné etažérky HVB I, II
806/1-01, 02	Prostory elektrického zařízení příčné etažérky 1., 2. bloku HVB I
806/1-03, 04	Prostory elektrického zařízení příčné etažérky 3., 4. bloku HVB II
490/1-01, 02	Strojovna HVB I, II
530/1-01, 02	Dieselgenerátorová stanice I, II
531/1-01, 02	Naftové hospodářství DGS I, II
580/1-01, 02	Budova koncového jímače tepla pro HVB I, II
584/1-01, 02	Centrální čerpací stanice chladicí vody a požární vody I, II
593/1-01, 02	Budova pro superhavarijní napájení vč. nádrží I, II
593/1-03, 04	Budova superhavarijního napájení 3, 4
460/1-01, 02	Ventilační komín HVB I, II
581/1-01, 02, 05, 06	Chladicí věže č. 1 , 2, 5 a 6
1, 2, 3, 4.A2.3	Přístavek k SO 806/1-01, 02, 03, 04
401/1 a 350/1	Potrubní a kabelové kanály

3.8.1 Uspořádání objektů hlavního výrobního bloku

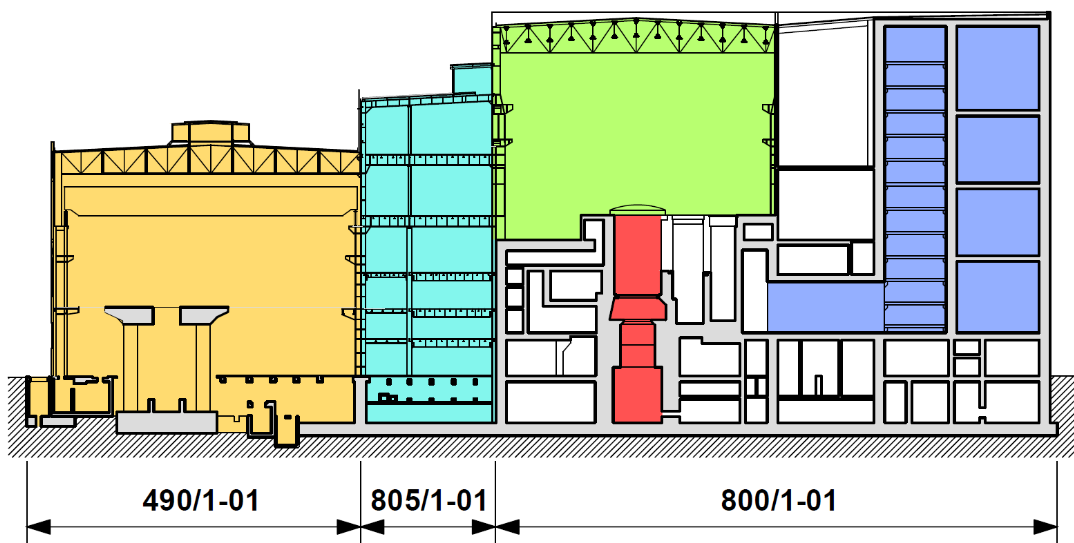
V tzv. hlavním výrobním bloku (HVB) jsou soustředěny nejdůležitější výrobní činnosti dvou bloků EDU, tj. reaktory, kde probíhá jaderná reakce spojená s vývinem tepla, generování páry a její využití pro výrobu elektřiny v turbogenerátorech (TG). Dále jsou zde umístěny hlavní podpůrné systémy pro tuto výrobní činnost, zejména elektrosystémy, SKŘ a vzduchotechnika.

V areálu JE jsou celkem dva HVB (tj. HVB I a HVB II), v každém z nich jsou umístěny dva reaktory každý o tepelném výkonu 1444 MW, jejichž tepelná energie je v dalších zařízeních obou bloků HVB transformována do elektrického výkonu cca 500 MW, který je z každého reaktorového bloku dodáván do elektrické soustavy. Oba reaktorové bloky dispozičně odděluje centrální část HVB, obsahující prostory sloužící oběma reaktorům.

Součástí HVB I jsou tyto stavební objekty:

- SO 800/1-01 – Budova reaktorů HVB I
- SO 805/1-01 – Prostory elektrického zařízení podélné HVB I
- SO 806/1-01, 02 – Prostory elektrického zařízení příčné 1., 2. bloku HVB I
- SO 490/1-01 – Strojovna HVB I
- SO 593/1-01 – Budova pro superhavarijní napájení vč. nádrží I
- SO 460/1-01 – Ventilační komín HVB I
- SO 1,2.A2.3 – Přístavek k SO 806/1-01, 02

Obdobně jsou číslované stavební objekty HVB II.



SO 800/1-01 - Budova reaktorů HVB I

Reaktorový sál

Šachta reaktoru

Barbotážní věž včetně spojovacího koridoru

SO 490/1-01 - Strojovna HVB I

SO 805/1-01 - Prostory elektrického zařízení podélné etažérky HVB I

Obr. 30. Schematický řez objekty HVB I

3.8.2 Hermetická zóna a systém lokalizace havárie

Budovy reaktorů 1. a 2. (resp. 3. a 4.) bloku představují základní dispoziční a funkční části HVB I (HVB II) EDU. V SO 800 Budova reaktorů HVB I jsou umístěna technologická zařízení důležitá z hlediska jaderné bezpečnosti. Objekty budov reaktorů HVB jsou členěny z hlediska funkce na hermetickou a nehermetickou část. Hermetická část je stavebně tvořena kontejnmentem reaktoru VVER 440. Hranice hermetických zón jsou určeny polohou ocelové hermetické vystýlky (též zvané “oblícovky”), zajišťující integrální těsnost hermetických zón v případě projektové nehody spojené se ztrátou těsnosti primárního okruhu (I.O).

Budova reaktorů má půdorysný rozměr 144 x 39 m. Ve vertikálním směru má nejnižší podlaží na kótě -10,50 m, nejvyšší podlaží má úroveň +31,0 m, střecha je na úrovni cca +50,6 m.

Podzemní část objektu tvoří tři podzemní podlaží. Nadzemní část objektu tvoří sedm podlaží.

Z funkčního hlediska se budova reaktorů HVB I člení na:

- Reaktorovnu – 1. blok
- Barbotážní věž – 1. blok
- Reaktorovnu – 2. blok
- Barbotážní věž – 2. blok
- Centrální část budovy

Pracovní prostory v budově reaktorů spadají do kontrolovaného pásma (KP) s omezeným pohybem osob a materiálu, podrobeným dozimetrické kontrole. Z hlediska charakteru prostorů KP se budova reaktorů člení na prostory:

- obsluhované (OP),

- poloobsluhované (PP),
- neobsluhované (NP).

Z technického hlediska lze budovu reaktorů rozdělit na:

- hermetickou zónu nacházející se uvnitř kontejnmentu,
- nehermetickou část vně kontejnmentu.

Konstrukce hermetické části budovy reaktorů tvoří ŽB monolitické stěny a stropy kontejnmentu. Střední část budovy reaktorů sousedící s podélnou etažérkou (SO 805) tvoří ocelové sloupy a betonové panely. Nad úrovní +18,90 m tvoří většinu objektu ocelová halová konstrukce s lehkým obvodovým pláštěm včetně prosklení. V hale jsou zabudovány mostové jeřáby. Objekt je ukončen plochou střechou s nejvyšší úrovní +50,60 m.

Kontejnment uvnitř, kterého se nachází hermetická zóna, obsahuje tyto základní stavební prvky:

- železobetonové konstrukce se zvýšenou odolností vůči přetlaku a nárazům,
- hermetickou ocelovou vystýlku,
- hermetické dveře, průlezy, poklopy a montážní otvory,
- hermetické průchodky (potrubní, kabelové).

Tyto stavební prvky jsou vybaveny indikací netěsností a zařízením pro zkoušení těsnosti.

Systém kontejnmentu a hermetické zóny slouží k lokalizaci radioaktivních látek v hermeticky uzavřeném prostoru. Funkce hermetické zóny (HZ) je dána speciálními stěnami a jejich obložením, průchodkami pro vedení kabelů a trubek stěnami HZ, osobními uzávěry k umožnění vstupu do HZ a oddělovacími armaturami k zajištění oddělení HZ od ostatních prostorů pro zabránění šíření radioaktivních látek z HZ. Funkčnost kontejnmentu a hermetické zóny je ověřována pevnostními a těsnostními zkouškami.

Místnosti uvnitř HZ jsou projektovány tak, aby odolaly všem zátěžím při havárii tj. teplotě, tlaku, vlhkosti a radiačnímu působení chladiva reaktoru uvolněného při ztrátě těsnosti I.O a dokázaly udržet uvolněné štěpné produkty a ostatní radioaktivní látky všech tří skupenství v uzavřeném objemu.

Záchyt a lokalizaci radioaktivních látek v hermetické zóně v případě havarijní netěsnosti I.O podporují následující systémy:

- **Vakuobarbotážní systém** slouží ke snížení tlaku v HZ prostřednictvím kondenzace páry při průchodu paroplynné směsi vodními uzávěry a k lokalizaci nekondenzovatelných aktivních plynů v záchytných komorách. Jedná se o pasivní bezpečnostní systém.
- **Sprchový systém** je aktivním lokalizačním zařízením pracujícím v úzké součinnosti s pasivním vakuobarbotážním systémem při havarijním úniku chladícího média reaktoru do hermetické zóny. Sprchováním se snižuje tlak a teplota v boxu parogenerátorů (PG) uvnitř kontejnmentu a dochází k záchytu radioaktivních látek do sprchové vody.
- **Dekontaminační systém HZ.** Při havarijním vniknutí chladiva do hermetické zóny dochází ke kontaminaci povrchu zařízení primárního okruhu. V posledních fázích likvidace následků havárie provádí obsluha dekontaminaci. Principem činnosti dekontaminačního systému hermetických prostorů je přenos radioaktivity, usazené na povrchu zařízení do vody nebo dekontaminačního roztoku, které jsou po tomto procesu považovány za radioaktivní odpad.

Kontejnment je dimenzován na havarijní stavy, tj. přetlak cca 0,17 MPa a podtlak 0,02 MPa a havarijní teplotu 130 °C. V konečném provedení bylo statické řešení kontejnmentu dimenzováno na abs. tlak 0,245 MPa.

Pro dodržení stability a funkčnosti objektu, byly dimenzovány tloušťky jednotlivých konstrukcí HZ uvnitř kontejnmentu (stěny, stropy) na uvedené namáhání a

technologické požadavky, příp. stínění. Uvedené konstrukce byly provedeny v tloušťce od 0,6 m až 1,5 m. Specifické provedení je u šachty reaktoru, ve které je umístěna tlaková nádoba reaktoru, kde konstrukce dosahují tloušťky 2,5 m až 3,5 m.

3.8.2.1 Potrubní a kabelové průchodky přes hranici hermetické zóny

Hermetické průchodky zabezpečují přechod potrubí a kabelů mezi hermetickou a nehermetickou zónou JE bez narušení hermetičnosti stěn, podlah a stropů. Podle způsobu použití se hermetické průchodky dělí na:

- potrubní
- kabelové
- hřídelové (pro přenos mechanického pohybu)

Z jiného hlediska se hermetické průchodky dělí na technologické (s přímým napojením na technologii) a stavební. Stavební průchodky jsou součástí železobetonové konstrukce kontejnmentu.

Hermetická potrubní průchodka se vkládá do potrubí v místě jeho prostupu stěnou HZ. Je konstruována jako pevný bod a dimenzována tak, aby bez poškození a porušení hermetičnosti zachytila veškeré síly a momenty, přenášené připojeným potrubím i při podmínkách velké projektové nehody. V tomto případě musí těsnící díly průchodky vydržet jednostranný tlak 0,25 MPa při teplotě 127°C a vlhkosti 100 %. Průchodka musí zůstat neporušena a hermeticky těsná i při namáhání, které může vzniknout při roztržení potrubí.

3.8.2.2 Zatížení a kombinace zatížení uvažované pro kontejnment

a) Zatížení při normálních provozních podmínkách (NPP)

Stálá zatížení: Zatížení od všech stavebních konstrukcí a od tíhy trvale instalovaného technologického zařízení.

Nahodilá zatížení: Jde o proměnlivá zatížení od pracovních médií (vč. hydrostatického tlaku v nádržích) a od osob pohybujících se v daném objektu.

Zatížení provozní teplotou: Uvnitř hermetické zóny se teplota pohybuje v rozmezí 40 – 60 °C.

Zatížení způsobená reakcemi komponent: Jedná se o zatížení od komponent a potrubí způsobené hydrodynamickými efekty při proudění médií za normálního provozu při ustáleném nebo přechodovém stavu výrobního bloku.

Zatížení provozním tlakem: Jsou to účinky provozního tlaku nebo tlakových rozdílů, které vznikají při normálním provozu.

Zatížení vynucenými deformacemi: Jsou tím myšleny silové účinky vynucených přetvoření (např. nerovnoměrné sedání základových konstrukcí).

b) Zatížení v důsledku maximální projektové nehody (MPN)

Při MPN dochází k výronu chladiva do hermetického prostoru uvnitř kontejnmentu, což způsobí teplotní a tlakové zatížení stavebních konstrukcí, přičemž může dojít i k dynamickým účinkům vlivem letících předmětů a proudu chladiva. Tento jev je doprovázen radioaktivním zamořením konstrukcí uvnitř hermetické zóny.

c) Zatížení v důsledku působení přírodních jevů

Zatížení účinky větru: Zatížení tlakovými účinky větru na vnější povrchy konstrukcí. Úroveň zatížení odpovídá velikosti jevu se střední dobou návratu 100 let. Byla uvažována okamžitá rychlost nárazového větru v = 46,5 m/s.

Zatížení účinky sněhu: Zatížení tíhou sněhu na vnější vodorovné a šikmé plochy stavebních objektů. Úroveň zatížení odpovídá velikosti jevu se střední dobou návratu 100 let. Jeho velikost je určena hodnotou S_{proj} = 1,09 kN/m^2.

Zatížení od referenčního zemětřesení: Velikost tohoto zemětřesení je pro EDU stanovena stejná jako pro zemětřesení úrovně SL-2 (též SSE nebo MVZ) ve smyslu klasifikace dokumentů IAEA pro lokalitu EDU. Velikost tohoto zemětřesení odpovídá velikosti jevu se střední dobou návratu 10 000 let. Maximální výpočtové zemětřesení je zadáno hodnotou špičkového zrychlení v úrovni terénu PGA=0,047g a pro výpočty seismické odolnosti byla použita hodnota PGA=0,1g.

Extrémní zatížení sněhem: Zatížení tíhou extrémní sněhové vrstvy. Úroveň zatížení odpovídá velikosti jevu se střední dobou návratu 10 000 let. Velikost zatížení je stanovena S_{extr} = 1,95 kN/m^2.

Zatížení extrémním větrem: Zatížení účinky větru extrémní intenzity. Úroveň zatížení odpovídá velikosti jevu se střední dobou návratu 10 000 let. Byla uvažována okamžitá rychlost nárazového větru v = 63,4 m/s..

Extrémní vodní srážky: Zatížení tíhou vodní vrstvy vznikající v důsledku částečného nebo úplného zatopení střešních ploch při přívalovém dešti a extrémních srážkách. Úroveň zatížení odpovídá velikosti jevu se střední dobou návratu 10 000 let. Denní úhrn srážek v mm = 125 mm.

d) Zatížení v důsledku působení vnějších vlivů vyvolaných člověkem

Dopad letícího tělesa: Mimořádné zatížení dynamického charakteru vznikající při dopadu letadla nebo jiného létajícího tělesa na stavební objekty.

Vnější výbuch

e) Zvláštní zatížení

Pád těžkého břemene: Mimořádné rázové zatížení, které může vzniknout pádem břemene (zpravidla transportního kontejneru s palivem o celkové hmotnosti cca 113 t) při transportu jeřábem v sále reaktoru a při jeho ukládání na vagón.

Zatížení přetlakem při tlakové zkoušce: Z hlediska únosnosti stavebních konstrukcí hermetické zóny a systému lokalizace havárie je rozhodující maximální zkušební přetlak při předprovozní integrální zkoušce těsnosti.

Kombinace zatížení pro hodnocení konstrukcí hermetické zóny zahrnují všechny normální i mimořádné (tj. účinky projektové havárie nebo extrémních podmínek vnějšího prostředí) provozní podmínky, které mohou nastat v průběhu provozu JE.

Tyto kombinace lze rozdělit do následujících kategorií:

Normální provozní podmínky zahrnují kombinaci stálého zatížení, nahodilých zatížení, provozních zatížení od komponent a potrubí, návrhových (projektových) klimatických zatížení od sněhu a větru a provozních zatížení od vynucených deformací.

Zkušební podmínky zahrnují kombinaci stálého zatížení, nahodilých zatížení, provozních zatížení od komponent a potrubí, provozních zatížení od vynucených přetvoření a maximálního zkušebního přetlaku.

Maximální projektová nehoda (MPN) zahrnuje kombinace stálého zatížení, dlouhodobých nahodilých zatížení, provozních zatížení od komponent a potrubí, provozních zatížení od vynucených přetvoření, která působí současně s teplotními, tlakovými a jinými zatíženími v důsledku MPN.

MPN + lokální dynamické účinky zahrnují kombinaci stálého zatížení, dlouhodobých nahodilých zatížení, provozních zatížení od komponent a potrubí, provozních zatížení od vynucených přetvoření, která působí současně s teplotními,

tlakovými a jinými zatíženími v důsledku, včetně lokálních tlakových, teplotních, dynamických a rázových zatížení v důsledku prasknutí potrubí při MPN.

Extrémní podmínky okolního prostředí zahrnují kombinaci stálého zatížení, dlouhodobých nahodilých zatížení, event. též provozních zatížení od komponent a potrubí a provozních zatížení od vynucených přetvoření, která působí současně s jedním z níže uvedených zatížení vznikajících v důsledku působení extrémních podmínek vnějšího prostředí.

Jiné události (kombinace s pádem těžkého břemene)

3.8.2.3 Požadavky na zkoušky a provozní kontroly

Zkoušky těsnosti HZ:

Předprovozní zkoušky na 1. bloku EDU byly realizovány od počátku jeho provozu dle samostatného "Programu předprovozní integrální zkoušky těsnosti HZ 1. bloku EDU" z března 1984. Podle obdobných programů byly následně realizovány zkoušky i na dalších blocích EDU. Periodické zkoušky byly prováděny dle "Programu periodických integrálních zkoušek těsnosti HZ JE s reaktory VVER 440" z června 1985. Od r. 2002 se na všech blocích EDU postupuje podle provozního předpisu „Provádění zkoušek těsnosti ochranné obálky kontejnmentu“.

Provozní periodické integrální zkoušky těsnosti (PERIZ) hermetických prostorů EDU představují soubor důležitých kontrolních a měřících operací, kterými se prokazuje požadovaná těsnost HZ u všech bloků EDU. Tyto zkoušky jsou realizovány v průběhu provozních odstávek pro výměnu paliva každoročně, resp. v intervalech, které jsou stanoveny SÚJB pro další provoz bloku EDU.

3.8.2.4 Betonové a ocelové konstrukce uvnitř kontejnmentu

V kontejnmentech bloků EDU jsou umístěna hlavní technologická zařízení (např. reaktor, hlavní cirkulační potrubí, parogenerátory atd.), která jsou umístěna v oddělených místnostech. Místnosti jsou však vzájemně propojeny tak, že tvoří v jednom bloku jeden společný prostor, navržený na vnitřní přetlak i podtlak vzhledem k okolí v rozmezí od 0,08 MPa do 0,25 MPa. Celkový objem HZ v jednom bloku je cca 52 500 m^3.

Hermetickou zónu uvnitř kontejnmentu každého z bloků EDU je možno v hrubých rysech rozčlenit na tyto úseky:

- **Recirkulační ventilační centrum (RVC)**
  Zde je umístěno vzduchotechnické zařízení pro ventilaci a recirkulační chlazení hermetické zóny. RVC je tvořeno ŽB stěnami tlustými 1,5 m z betonu pevnosti 20 a 30 MPa. Spodní část konstrukce tvoří ŽB deska tloušťky 1,5 m. Ocelová vystýlka je součástí armobloků, vnější vystýlka zabezpečující hermetičnost RVC je z uhlíkatého ocelového plechu tloušťky 6 mm.
- **Šachta lokalizace havárií (ŠLH)**
  Šachta lokalizace havárií je dispozičně umístěna v HVB od podl. +6,00 m po úroveň cca +49,00 m.
  Barbotážní kondenzátor spolu se záchytnými komorami tvoří samostatný stavební objekt o půdorysu 42,6 x 21,5 m a výšce cca 50,6 m, napojeným na hermetické prostory reaktoru a primárního okruhu spojovacím koridorem. Spojovací koridor je v prostředku podélně rozdělen železobetonovou stěnou o tloušťce 1 m na dvě stejné části. S hermetickými prostory parogenerátorů, hlavních cirkulačních čerpadel a dalších místností kolem reaktoru tvoří kompaktní uzavřený celek.
  Budovu barbotéru a záchytných komor tvoří společná železobetonová stavba o tloušťce stěn a stropu 1,5 m, po celé výšce rozdělená stěnou tloušťky 1,5 m na prostor barbotážního kondenzátoru o půdorysu 39 x 8,55 m a prostor čtyř záchytných komor o půdorysu 39 x 11,45 m. Celkový objem prostoru barbotážního kondenzátoru činí 13 970 m^3, celkový objem záchytných komor je 16 465 m^3. Vnitřní stěny barbotéru jsou opatřeny ocelovou výstelkou

zakotvenou na zabudované ocelové prvky stavby. Rovněž všechny vnitřní stěny, stropy a podlahy záchytných komor jsou opatřeny vystýlkou z ocelového plechu zajišťující maximální těsnost stavby.

- **Boxy parogenerátorů**
  V tomto rozsáhlém prostoru je umístěna převážná část technologického zařízení I.O. Vnější stěny jsou zhotoveny z armobloků, jejichž ocelová vystýlka z obou stran je schopna odolat havarijnímu přetlaku. Strop boxů PG tvoří hranici hermetického prostoru a kontejnmentu.
- **Ostatní hermetizované místnosti uvnitř hermetické obálky**
  Šachta reaktoru slouží pro uložení a odstínění reaktoru. Má dvojité stěny. Vnější stěny od kóty –6,50 m jsou z armobloků, vnitřní stěny jsou monolitické, opatřené ocelovou vystýlkou z obou stran, na vnější straně hermetickou. Dno ŠR tvoří spádovaná podlaha s nerezovou vystýlkou, pod kterou je hermetická vystýlka z uhlíkaté ocele, spojená s hermetickou vystýlkou stěn ŠR. Zhruba v úrovni podlahy reaktorového sálu na cca +21,50 m je ŠR uzavřena ocelovým hermetickým poklopem.
  Místnosti pro tlakové zásobníky a kompenzátor objemu jsou přístupné z boxu PG. Hranici HZ tvoří vnější ocelová vystýlka obvodových stěn a vnější vystýlka stropu kontejnmentu na + 25,50 m.

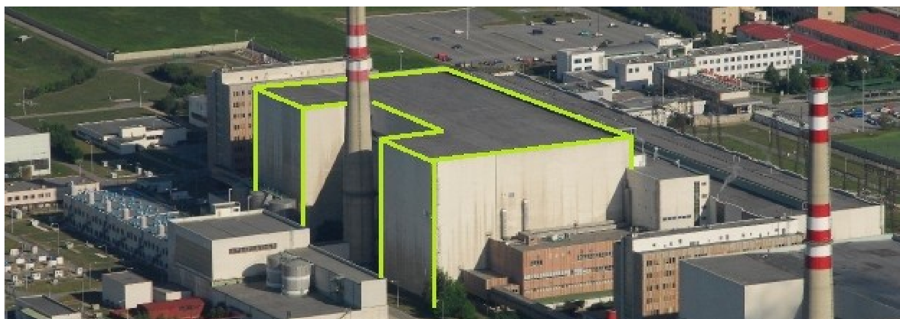
3.8.3 Ostatní stavební konstrukce a objekty seismické kategorie 1

3.8.3.1 Budova reaktorů (nehermetická část) – SO 800/1-01, 02

Nehermetická část budovy reaktoru zahrnuje ostatní prostory budovy reaktorů mimo kontejnment a jeho hermetické zóny. Jsou v ní umístěny technologické systémy, nichž některé jsou projektovány jako seizmicky odolné a pro další se seismická odolnost nevyžaduje:

Nehermetická část budovy reaktorů je konstruována v zásadě stejně, jako její hermetická část. Hlavním stavebním prvkem jsou zde také armobloky, zalité do betonu, čímž je vytvořena monolitická konstrukce. Největší odlišnost spočívá v tom, že zde stavební konstrukce není dimenzována na předpokládaný havarijní přetlak a podtlak a není důsledně uplatněna ocelová vystýlka stěn pro zajištění těsnosti vůči případným únikům radioaktivních látek při havárii. Pokud jsou podlahy a stěny obloženy ocelovým plechem, tak je to zdůvodněno požadavkem na jejich vyšší odolnost vůči provozním vlivům, při čištění a dekontaminaci.

Hermetizační účel v nehermetické zóně má pouze vystýlka v bazénech a nádržích s radioaktivním médiem (např. bazén vyhořelého paliva a šachta kontejneru), kde ocelová vystýlka zajišťuje těsnost bazénu a odolává hydrostatickému tlaku vody. Bazén vyhořelého paliva (BVP) slouží pro ukládání a chlazení vyhořelého paliva pod ochrannou vrstvou vody s rozpuštěnou kyselinou boritou. Stěny jsou z obou stran opatřeny uhlíkatou ocelovou hermetickou vystýlkou. Na vnitřní straně je mimo to ještě vystýlka nerezová, s meziprostorem pro detekci a odvod případných úniků. Dno BVP je řešeno tak, aby bylo možno případné úniky sbírat a odvádět do speciální kanalizace. Dále je do dna BVP uložena speciální nerezová konstrukce se zabudovanými díly pro uložení vyhořelého paliva.



Obr. 31. Pohled na budovu reaktorů HVB I

3.8.3.2 Prostory elektrického zařízení podélné HVB I, II – SO 805/1-01,02

Tento stavební objekt (SO), zvaný též "Podélná etažérka" nebo také "Mezistrojovna" slouží pro technologická zařízení v budově reaktorů a ve strojovně. Jsou v něm umístěny zejména elektrozařízení pro primární a sekundární okruh, zařízení SKŘ, parovody a napájecí potrubí mezi parogenerátory v budově reaktorů a turbínami ve strojovně a vzduchotechnické strojovny.

Podélná etažérka má 3 podzemní podlaží a 9 nadzemních podlaží. Nosnou konstrukci objektu podzemních podlaží tvoří monolitické sloupy, monolitické stěny a monolitické stropy (monolitická ŽB deska). Nosnou konstrukci nadzemních podlaží tvoří nosné obvodové konstrukce (OK) tvořené sloupy a průvlaky, nosné stěny z bloků PORING a z cihelných bloků CDK. Vnější obvodové zdivo je provedeno z bloků PORING a z obvodového pláště FEAL.



Obr. 32. Pohled na část podélné etažérky (mezistrojovny) HVB I

3.8.3.3 Prostory elektrického zařízení příčné 1., 2., 3., 4. blok – SO 806/1-01,02,03,04

Tento SO zvaný též "Příčná etažérka" má blokové uspořádání (k jednomu HVB tedy přináleží dvě příčné etažérky umístěné na opačných stranách HVB)a slouží pro technologická zařízení v budově reaktorů pro příslušný jaderný blok. Jsou v něm umístěna elektrotechnická zařízení a zařízení SKŘ pro příslušný jaderný blok, včetně blokové a nouzové dozorny příslušného bloku.

Objekt obsahuje dvě podzemní podlaží, která jsou provedena z monolitického železobetonu. Nadzemní část od úrovně +0,00 m až po cca +20 m je provedena z ocelového skeletu. Vnější opláštění objektu po kótu +5,40 m je provedeno ze siporexových tvárnic, výše až po střešní konstrukci je opláštění ze zavěšených panelů systému Feal.



Obr. 33. Pohled na příčnou etažérku 2. reaktorového bloku

3.8.3.4 Strojovna – SO 490/1-01, 02

Je to společný objekt pro dva reaktorové bloky. V hrubých rysech je tento objekt členěn na strojovnu 1. bloku, strojovnu 2. bloku a olejové hospodářství turbíny. V každé strojovně jsou umístěny čtyři turbogenerátory s dalším zařízením sekundárního okruhu, tj. kondenzátory, regeneračními ohříváky, separátory páry, parovody, čerpadly, jeřáby a dalším zařízením. Prostor strojovny nespadá do kontrolovaného pásma.

Objekt má 2 podzemní a 2 nadzemní podlaží, včetně mezipodlaží technologických. Podzemní část objektu je provedena z monolitického železobetonu. Základová spára je na kótě –6,55 m. Samostatné nezávislé založení má každý TG se základovou spárou na kótě –7,20 m a vlastní základovou desku o tloušťce 2,10 m. V podzemním i nadzemním prostoru objektu jsou včleněny ocelové plošiny pro obsluhu technologického zařízení.

Od úrovně +0,00 m začíná nosný ocelový skelet až po střešní konstrukci na kótě +33,0 m. Hlavní nosné ocelové sloupy mají profil I 160. Na ocelových sloupech je jeřábová dráha pro mostový jeřáb 2 x 125/50 t. Vnější opláštění je ze spínaných siporexových panelů a prosklených vertikálních okenních pasů, zajišťujících prosvětlení prostorů strojovny.



Obr. 34. Pohled na část budovy strojovny I.HVB

3.8.3.5 Dieselgenerátorová stanice I, II – SO 530/1-01, 02

Hlavním technologickým zařízením v každé budově dieselgenerátorové stanice (DGS) je šest dieselgenerátorů, které jsou součástí bezpečnostních systémů EDU pro případ ztráty napájení elektrárny elektrickým proudem pro vlastní spotřebu. 3 diesegenerátory jsou zdrojem nouzového napájení pro 1. blok a další 3 pro 2. blok. Stejné řešení je použito i pro HVB II (3. a 4. reaktorový blok).

Podzemní část DGS je provedena ze ŽB monolitických prvků. Objekt je založen na základových pasech. Vlastní dieselgenerátor má samostatný základ, oddělený dilatačně od ostatních konstrukcí objektu.

DGS obsahuje 6 samostatných buněk. Vnitřní dělící konstrukce jsou z cihelných příček a siporexových tvárnic. Nadzemní část objektu je z ocelové konstrukce, jakož i přístupové a komunikační plošiny k technologickému zařízení. Obvodový plášť je ze siporexových panelů.

3.8.3.6 Ventilační komín HVB I, II SO 460/1-01, 02

Železobetonový komín slouží k ventilaci objektu HVB a BAPP (budova aktivních pomocných provozů), na které je napojen vzduchovodem a spojovacím mostem. Slouží pro odvod vzduchu, odsávaného z místností kontrolovaného pásma (včetně hermetické zóny) přes vzduchotechnické filtry do okolní atmosféry. Je navržen jeden komín pro jeden HVB (tj. dva reaktorové bloky) a pro jednu budovu aktivních pomocných provozů. V komíně je umístěno zařízení pro radiační kontrolu plynných výpustí z ventilačního komína do okolního vzduchu.

Ventilační komín je proveden jako klasický ŽB komín o celkové výšce 125 m. Uvnitř komína jsou umístěna technologická podlaží na úrovni +0,00 m; +6,00 m; +15,50 m a +18,90 m. Vnější průměr komína v úrovni terénu je 10,95 m, u vrcholu, tj. na kótě +125,00 m, je průměr 5,40 m. Tloušťka stěny komína je proměnná od 520 mm (spodní část) do 200 mm (hlava komína).



Obr. 35. Pohled na ventilační komíny HVB I a HVB II

3.8.3.7 Centrální čerpací stanice chladicí a požární vody I, II – SO 584/1-01, 02

Centrální čerpací stanice (CČS) je stavební objekt, ve kterém jsou umístěna čerpadla chladicí vody, která čerpají vodu z bazénů pod chladicími věžemi přes kondenzátory turbín zpět do chladicích věží. Jsou zde také čerpadla technické vody důležité a čerpadla požární vody. CČS obsahuje vtokový objekt se dvěma jímkami a strojovnu s čerpací stanicí chladicí a požární vody a s čerpací stanicí technické vody důležité.

Čerpací stanice je dvoulodní ocelová hala, která sestává celkem ze čtrnácti příčných vazeb. Tyto vazby jsou tvořeny vždy třemi klasickými ocelovými sloupy a dvěma příhradovými nosníky. Modulové rozpětí mezi řadami je 9,00 m.

Stavebně se objekt dělí na vtok (přivádí vodu z chladicích věží), nádrž hlavních chladicích čerpadel, nádrž technických čerpadel a energetický blok. Celá podzemní část objektu je z masivních ŽB konstrukcí, které jsou provedeny z vodostavebných betonů se zvýšeným množstvím cementu. Tloušťka hlavních základových desek je 1,50 m a 1,65 m. Nadzemní část je provedena jako dvoulodní ocelová hala. Na nosném ocelovém skeletu jsou dvě jeřábové dráhy nosnosti 50 t a 8 t.

Vnější obvodový plášť je tvořen spínanými pórobetonovými panely PORING, uloženými na ocelových sloupech. Prosklené části jsou tvořeny WEMA zasklením. Střešní konstrukce je plochá.

3.8.3.8 Chladicí věže č. 1 až 8 – SO 581/1- 01 až 08

Chladicí věže jsou určeny pro odvod tepla, odebíraného z kondenzátorů turbín do venkovního ovzduší. Tyto věže s přirozeným tahem jsou schopny chladit i menší množství technické vody důležité pomocí samostatných sekcí na rozstřikování vody uvnitř jednotlivých věží. K jednomu HVB přináleží sestava 4 chladicích věží.

Chladicí věž typu ITERSON výšky 125 m je řešena jako hyperbolická skořepina s proměnnou tloušťkou pláště, ve spodní části má plášť tl. 600 mm, minimální tloušťka pláště je 150 mm. Při koruně věže se tloušťka zesílí až na 800 mm. Konstrukce věže je z monolitického železobetonu.

Skořepina je podepřena v 52 bodech spodního okraje prostorovou příhradovou konstrukcí, složenou ze 104 kusů prefa stojek (podpor) v průřezu pravidelného osmiúhelníku. Tímto je vytvořen nasávací otvor pro přívod vzduchu. Uvnitř věže je chladicí výplň, která je tvořena lisovanými umělohmotnými i rovnými deskami.



Obr. 36. Pohled na sestavu chladicích věží

3.8.3.9 Budova pro superhavarijní napájení vč. nádrží I, II – SO 593/1-01, 02

V tomto objektu jsou umístěny nádrže demineralizované vody pro superhavarijní dochlazování primárního okruhu a příslušné technologické zařízení pro čerpání této vody. Ke každému HVB přísluší jeden objekt SHN, v areálu EDU1-4 jsou tedy celkem dva stavební objekty SHN.

Vlastní budova je dvoupodlažní. Podzemní podlaží (potrubní a kabelové prostory) je z monolitického železobetonu. Nadzemní část je provedena z prefabrikované konstrukce (nosné sloupy a střešní vazníky v modulové síti nosných sloupů po 6,00 m, ke kterým je kotven vnější obvodový plášť ze siporexových panelů). Střecha je zakryta ŽB deskovými panely. Hlavní nosné sloupy jsou založeny na ŽB patkách, které jsou vzájemně propojeny ŽB pasy.

Na objekt navazují tři ocelové nádrže o objemu 1000 m^3, které jsou uloženy na ŽB vaně tloušťky 1 m.

3.8.3.10 Budova superhavarijního napájení 3, 4 – SO 593/1-03, 04

Tento objekt slouží pro umístění dvou SHNČ čerpadel. Jedná se o doplnění diverzního systému havarijního doplňování demivody do PG, tento požadavek vyplynul ze „zátěžových zkoušek“ (tzv. stress testů).

Objekt je tvořen krabicovou monolitickou železobetonovou konstrukcí o půdorysu 12,5 x 9 m, má jedno nadzemní a jedno podzemní podlaží, výška objektu je 5 m nad terénem. Základová deska a obvodové stěny jsou ŽB monolitické tl. 400 mm. Pultová střešní konstrukce je tvořena šikmými trámy 700/300 mm s roztečí 2000 mm s deskou tl. 300 mm.

3.8.3.11 Přístavba k SO 806 – SO 1., 2., 3., 4. A2.3

Účelem objektu je rozšíření prostoru pro umístění rozvoden a technologického zařízení ke zvýšení spolehlivosti systému zajištěného elektronapájení vlastní spotřeby I. kategorie. Stavební objekt původně v neseismickém provedení byl na všech blocích seismicky zodolněn.

Spodní část stavby je ŽB monolitická, stavba nad terénem je zděná, obvodové zdivo je ze siporexových tvárnic.

3.8.3.12 Kabelové a potrubní kanály

V uvedených kabelových a potrubních kanálech jsou umístěny kabelové a potrubní rozvody seismické kategorie S.

Dle vnitřního profilu se kanály dělí na průchozí, průlezné a kabelové rýhy. Dle konstrukčního řešení lze kanály rozdělit na:

Kanály monolitické – profil kanálu nebo skupiny paralelních kanálů tvoří uzavřený rám. Tloušťka železobetonových konstrukcí je zpravidla 250-300 mm.

Kanály z prefabrikovaných typových dílců – spodní část profilu je vyrobena z prefabrikovaných železobetonových dílců tvaru L (kanály průchozí), u kanálů průlezných jsou použity profily tvaru U. Shora jsou kanály zakryty deskovými prefabrikáty. Tloušťka stěnových dílců i krycích desek je 150 mm pro kanály průchozí a 100 mm pro kanály průlezné, délka dílců je obvykle 2,40 m.

kanály kombinované – kombinovaná konstrukce je charakteristická zejm. pro kabelové rýhy (profil 300x300 mm).

3.8.3.13 Koncový jímač tepla – 580/1-01

Účelem stavby je realizace požadavku na doplnění prostředků pro odvod tepla do koncového jímače, který vyplynul z periodického hodnocení bezpečnosti (PSR) a byl potvrzen i doporučením ze „zátěžových zkoušek“ (tzv. stress testů). Dosud bylo teplo ze systému TVD do koncového jímače odváděno v chladicích věžích s přirozeným tahem. Dle závěrů PSR a stress testů tyto chladicí věže nejsou odolné proti některým iniciačním událostem a některým extrémním podmínkám okolního prostředí. Alternativní způsoby chlazení nebylo možno prokázat jako 100% spolehlivé. Proto byl jako technický prostředek k odvodu tepla ze systému TVD navržen nový systém založený na ventilátorových chladicích věžích. Ke každému HVB přináleží jeden nový koncový jímač tepla.

Nosná konstrukce objektu je navržena jako krabicová se čtyřmi příčnými a jednou podélnou vnitřní nosnou stěnou. Půdorysné rozměry objektu jsou 24,0 x 36,0 m. Provozně je objekt vnitřně rozdělen na šest samostatných oddílů, které jsou ve dvojicích funkčně propojeny ve spodní bazénové části, která je navržena jako bílá vana z vodonepropustného betonu. Každý oddíl má na střeše ventilátor o průměru 8,0 m.

3.8.4 Základové konstrukce

Před zahájením výstavby a v jejím průběhu probíhaly práce na stavebně-geologickém průzkumu lokality JE Dukovany včetně vyšetřování stability podloží a základů staveb. Potřeba shrnout a doplnit geologické a geotechnické údaje se vyskytla při posuzování podloží pro úložiště radioaktivních odpadů a pro mezisklad vyhořelého paliva. Proto byl v roce 1992 zpracován databázový systém horninového prostředí, který doplňuje a shrnuje současný stav geologického průzkumu a geotechnického posouzení podloží. Geologická prozkoumanost podloží v oblasti založení chladících věží je hodnocena jako postačující, prozkoumanost prostoru pod HVB I a HVB II s přidruženými objekty jako stoprocentní.

Stavby I. kategorie seismické odolnosti JE Dukovany jsou založeny na skalních horninách s hloubkou hladiny podzemní vody pod úrovní zakládání. HVB je situován v místech, kde skalní podklad tvoří granulit, popř. v sousedství masivu amfibolitů a ruly. Obdobný geologický podklad je také u objektů SO 460, SO 530, SO 581, SO 593 a SO 806.

Chladicí věže SO 581 jsou založeny na zvětralém skalním podloží s rozsáhlejšími jámami, vyplněnými horninou, rozloženou na hlinité písky. Pod základovou spárou je vytvořena souvislá štěrkopísková vrstva o minimální mocnosti 15 cm. Obdobný geologický podklad jako u chladících věží je u objektů SO 580 a SO 584.

Základová konstrukce Budovy reaktorů (SO 800) je tvořena ŽB základovou deskou o tloušťce 3 m.

Objekt Podélné etažérky (SO 805) je založen výhradně na ŽB patkách pod ocelovými sloupy.

Objekt Příčné etažérky (SO 806) je založen na ŽB patkách a pasech.

Přístavba k SO 806 (SO A2.3) je založena na základové desce tl. 600 a 200 mm.

Objekt strojovny (SO 490) pod sloupy obvodových stěn je založen na ŽB patkách. Základovou konstrukcí TG je ŽB deska tloušťky 2,1 m.

Budova pro superhavarijní napájení (SO 593) je založena na ŽB patkách a pasech.

Ventilační komín (SO 460) je založen na kruhové ŽB desce průměru 18 m a tloušťce 3 m.

Čerpací stanice chladicí a požární vody (SO 584) je založena na dvou výškových úrovních na základové desce tl. 1,5 a 1,65 m.

Chladicí věže (SO 581) jsou založené na základovém pasu tvaru kruhového prstence, který je 3,5 m široký a cca 1 m vysoký.

Koncový jímač tepla (SO 580) je založen na základové desce tl. 600 mm, která je podporována vrtanými pilotami průměru 1,2 m.

3.9 Strojní systémy a komponenty

3.9.1 Specifické aspekty strojních komponent

Kapitola se zabývá výpočty pevnosti a životnosti nejdůležitějších komponent primárního okruhu bloků EDU1-4 zařazených do bezpečnostní třídy BT 1, které současně odpovídají zařazení do třídy 1 standardu ASME. Vstupem pro hodnocení jsou výpočtové parametry (tlak, teplota) a provozní režimy (stacionární – výkonové, nevýkonové; přechodové – normální, s narušením normálních podmínek, havarijní) předané projektantem těchto komponent (OKB Gidropress) českému dodavateli průvodní výpočtové dokumentace a hlavních komponent technologie (nynější ŠKODA JS a.s. Plzeň).

Přechodové režimy a jejich předpokládané počty za dobu životnosti jsou součástí technických podmínek a projektové dokumentace a tvoří základ pro tvorbu výpočtových zátěžných bloků pro výpočet únavového poškození. Pro výpočty pevnosti zařízení a potrubí ať již podle původní ruské normy „Normy rasčeta na pročnosť elementov reaktorov, parogeneratorov, sosudov i truboprovodov atomnych elektrostancij, opytnych i issledovatělskich jadernych reaktorov i ustanovok, Moskva, Metallurgija, 1973“nebo normativní technické dokumentace A.S.I. sekce III rev. 5 z r. 1996 jsou důležité kombinace zatížení. Normy definují tyto zatěžovací podmínky a jejich kombinace:

- *normální provozní podmínky (NPP)*, což je skupina provozních režimů daných provozními požadavky (utažení šroubů, spouštění, ustálený provoz, práce systému havarijní ochrany, změna výkonu reaktoru, vychlazování),
- *narušení normálních provozních podmínek (NNPP),* což je libovolné odchýlení se od NPP vyvolané zásahem systému regulace nebo potrubí uvnitř tlakové nádoby, neuzavřením pojišťovacích ventilů atd., přičemž je nutno předpokládat provoz reaktoru až do odstranění příčiny,
- *havarijní situace (HS)*, což je narušení provozních projektových režimů vyvolané ztrátou integrity některé z hlavních komponent primárního okruhu.

Výpočtové hodnocení strojních komponent bylo provedeno podle výše uvedené ruské normy platné v době zpracování projektové a průvodní výpočtové dokumentace. Norma je v porovnání s dnešními postupy konzervativnější.

Dovolená namáhání jsou v normě definovaná takto:

- jmenovité dovolené namáhání:

$$[\sigma] = \min\left[\frac{R^T_{p0.2}}{1{,}5}; \frac{R^T_m}{2{,}6}\right]$$

kde R_{p02} … smluvní mez kluzu při protažení 0,2 % [MPa]
R_m … pevnost v tahu [MPa]
1,5 … součinitel bezpečnosti k mezi kluzu
2,6 … součinitel bezpečnosti k mezi pevnosti

- dovolený tlak při tlakové zkoušce: $p^{TZ} = 1{,}25 p \frac{[\sigma]^{TZ}}{[\sigma]^{T}}$

kde $[\sigma^{TZ}]$ … nominální dovolené namáhání při tlakové zkoušce
$[\sigma]^{T}$ … nominální dovolené namáhání při výpočtové teplotě
p … výpočtový tlak

- dovolená namáhání pro elementy TNR, parogenerátoru a nádob:

Režim	Kategorie napětí			
	1	2	3	4
NPP	(σ)	1,3(σ)	2,5(σ)	(σ)
NPP+NNPP	1,2(σ)	1,6(σ)	-	-
HS	1,4(σ)	1,8(σ)	-	-

- dovolená namáhání pro potrubí:

Režim	Kategorie napětí			
	1	2	3	4
NPP	(σ)	1,3(σ)	2,5(σ)	(σ)
NPP+NNPP	1,2(σ)	1,6(σ)	-	-
HS	-	-	-	-

Pozn.: jednotlivé kategorie napětí znamenají

1. *obecná membránová napětí,*
2. *obecná membránová, obecná ohybová napětí a další,*
3. *rozkmit napětí,*
4. *amplituda napětí.*

Posouzení z hlediska pevnosti a životnosti se provádí pro nejdůležitější konstrukční uzly, mající vliv na možné narušení integrity a provozní bezpečnost. Mezi posuzované kritické uzly patří:

1) Tlaková nádoba reaktoru (TNR)
   - Hlavní přírubový spoj víka s tělesem tlakové nádoby
   - Nátrubek D 500 v celokované hrdlové části tělesa tlakové nádoby (TN) reaktoru
   - Nátrubek D 250 v celokované hrdlové části tělesa TN reaktoru
   - Uzel rozdělující vstupní a výstupní chladivo v mezihrdlové části TN reaktoru
   - Dolní část tělesa TN reaktoru
   - Přírubový spoj nátrubku technologického kanálu (TK)
   - Přírubový spoj nátrubku havarijních a regulačních kazet (HRK)
   - Přivaření nátrubku TK k víku
   - Přivaření nátrubku HRK k víku
2) Vnitřní části reaktoru (VČR)
   - Blok ochranných trub
   - Šachta reaktoru
   - Dno šachty reaktoru
   - Koš aktivní zóny
3) Parogenerátor (PG)

- Plášť tělesa a jeho odolnost proti porušení křehkým lomem, dno PG, nátrubky průlezů
- Nátrubek odvodu páry, sběrný kolektor páry
- Nátrubek napájecí vody, nátrubek havarijní vody
- Vstupní kolektor primárního okruhu v místě úrovně vody
- Spoj primárního kolektoru s pláštěm PG
- Přírubový spoj primárního kolektoru
- Teplosměnné(TS) trubky, spoj TS trubky s horkým kolektorem
- Uložení PG (podpěra, lanové omezovače)

4) Kompenzátor objemu (KO)

- Plášť
- Průlez horního dna
- Nátrubek JS 320 na spodním dně KO
- Nátrubek odvodu páry z KO
- Nátrubek vstřiku vody do KO
- Nátrubek ⊘ 156 mm pro připojení elektrických článků
- Spojení podstavce se spodním dnem kompenzátoru objemu

Z výsledků výpočtů vyplývá, že posuzované komponenty a zařízení primárního okruhu bloků EDU1-4 splňují podmínky použité původní ruské normy ve všech skupinách kategorií napětí včetně max. čerpání životnosti. Výsledky vyhovují i novější normě INTERATOMENERGO z r. 1984 NTD SEV 4201 až 14-86 („Oborudovanija i truboprovody atomnych elektrostancij„, Část 2. Normy rasčeta na pročnosť) a analogické ruské normě PNAE G-7-002-86 („Normy rasčeta na pročnosť oborudovanija i truboprovodov atomnych energetičeskich ustanovok„, vydané Energoatomizdat v r. 1989), podle kterých byly hodnoceny další budované bloky s reaktory VVER (EMO, ETE).

Pro tlakovou nádobu reaktoru byla dále provedena experimentální analýza napětí. Pro experimentální zjištění napětí byly použity jednak fotoelasticimetrie, jednak tenzometrická měření. Aby bylo možno vzájemně porovnat experimentální výsledky fotoelasticimetrie, tenzometrie a výpočtů, byla obě měření i výpočet provedeny při režimu pevnostní tlakové zkoušky - pro mechanické zatížení přetlakem 19,12 MPa. Cílem experimentální analýzy bylo potvrdit předpokládaná místa vysokého namáhání a ověřit výsledky výpočtových prací. Bylo konstatováno, že experimenty v rámci povolených nepřesností potvrzují výpočtové výsledky ve všech podstatných uzlech tělesa.

3.9.2 Dynamické zkoušení a analýza

Kmitání potrubí, teplotní dilatace a dynamické účinky

V provozních podmínkách EDU1-4 je sledováno kmitání potrubí I.O, včetně připojených komponent a vibrace rotačních strojů všech důležitých systémů primární části elektrárny. Výsledky diagnostických měření vlastních frekvencí kmitání jsou v dobré shodě s výpočetním modelem.

Teplotní dilatace konstrukční řešení primárního potrubí neomezuje. Zavěšení parogenerátoru umožňuje jeho pohyb ve směru podélné osy (posuv PG). Uložení HCČ na kulových podpěrách rovněž neomezuje dilatační posuvy. Potřebné výpočty byly provedeny v rámci průkazné pevnostní dokumentace a jsou dále průběžně zpřesňovány v rámci průkazů životnosti. Za provozu se teplotní dilatace měří na každé smyčce ve všech třech směrech, čidla jsou umístěna následovně:

- na horké větvi před vstupem do PG,
- na studené větvi za výstupem z PG,
- na sacím kolenu HCČ.

V případě potřeby je možno využít i diagnostická čidla (snímače posuvů) umístěná na PG. Potrubí páry z PG k turbínám (tzv. ostré páry) a napájecí vody rovněž nejsou dilatačně omezena.

Dynamické účinky jsou způsobeny turbulentními tlakovými pulsacemi v mezní vrstvě proudícího chladiva (tzv. turbulentní šum) a tlakovými pulsacemi generovanými

hlavními cirkulačními čerpadly (HCČ). Turbulentní šum je frekvenčně širokopásmový a vyvolá kmitání na vlastních frekvencích. Tlakové pulsace generované HCČ jsou úzkopásmové (tzv. lopatkové frekvence) a mají za následek vynucené kmitání. Z hlediska vlivu na životnost potrubí se vychází z poznatku, že se jedná o vysokocyklické namáhání a za kritérium se bere vibrační rychlost 12,8 $mm.s^{-1}$dle normy ANSI/ASME OM3-1982. Pro potřeby řízení životnosti byl vyvinut matematický model reaktoru a všech šesti smyček. Model dává dobrý soulad s diagnostickým měřeními.

Zkoušky a analýzy seismické odolnosti hlavních komponent I.O

Hodnocení seismické odolnosti hlavních komponent I.O. bloků EDU1-4 bylo provedeno aplikací metod SMA (určení mezní seismické odolnosti) a GIP (Generic Implementation Procedure – využití generických údajů z databáze seismické odolnosti a provedení dílčích výpočtů). Procedura GIP dále obsahuje speciální návody k ověření seismické odolnosti prvků SKŘ (zejména funkčních relé) a kabelových konstrukcí. Výsledky hodnocení hraniční seizmické odolnosti zařízení EDU jsou větší než PGA_{RLE} = 0,1 g.

Analýza dynamické odezvy vnitřních částí reaktoru při ustálených podmínkách a provozních přechodových procesech

Cílem analýzy bylo prověřit stabilitu vnitřních částí reaktoru ve vertikálním směru. Vnitřními částmi reaktoru typu VVER 440/213 se rozumí nosný válec (šachta), dno nosného válce (dno šachty), koš aktivní zóny s palivem a blok ochranných trub. Stabilita jejich uložení ve vertikálním směru je zajišťována 3 segmenty toroidní trubky a 72 pružinovými podbloky bloku ochranných trub (BOT).

Z provedených výpočtů (ověřených diagnostickým měřením) vyplývá, že z hlediska zachování statické vertikální stability je kritické zachování funkčnosti pružinových podbloků. Pokud by jejich přítlačná síla poklesla na 41,4 % nominální hodnoty, pak by se subsystém vnitřních částí reaktoru nacházel na hranici „vynášení“ ve vertikálním směru. Ve svých důsledcích to znamená, že by se přerušil kontakt v zavěšení příruby dna nosného válce na spodním vnitřním osazení nosného válce, což by vyvolalo zvýšené vibrace skořepiny nosného válce a následné rozvolňování kontaktu ve spodních vodících klínech.

Proto se při každé výměně paliva provádí měření vzdálenosti čel hlavic pružinových bloků od hlavní dělící roviny reaktoru a při odstávce s úplným vyvezením paliva se měří síla pružinových bloků. Při nesplnění některého kritéria (vzdálenost či síla mimo stanovenou toleranci) se pružinové bloky vymění.

Nosný válec může kmitat působením proudu chladiva (tzv. turbulentní tlakové pulzace v mezní vrstvě) a dále pak tlakovými pulzacemi generovanými HCČ. Rozbor dynamické odezvy na tlakové pulzace byl proveden pro jednotlivé konfigurace zapojení HCČ. Největší výchylka vyšla pro kombinaci zapojení HCČ 1, 2, 3, 4 a 6 v provozu a HCČ 5 odstavené. Pro tuto kombinaci byla vypočtena obvodová a osová napětí a zhodnocen vliv této napjatosti na vysokocyklovou únavu s vyhovujícím výsledkem.

Proudově indukovaného kmitání vnitřních částí reaktoru

Budící silou jsou jednak turbulentní tlakové pulzace v mezní vrstvě při podélném obtékání vnitřních částí reaktoru proudícím chladivem a dále pak tlakové pulzace generované HCČ. V prvém případě je vybuzeno rezonanční kmitání na vlastních frekvencích, v druhém případě hovoříme o vynuceném kmitání. Obecně nutno hovořit o kmitání komponent a o kmitání reaktoru včetně vnitřních částí jako mechanického systému.

Kmitání komponent tj. nosného válce, palivových článků a regulačních tyčí lze za provozu monitorovat pomocí neutronových šumů přes ionizační komory. Tato měření se na blocích EDU1-4 v rámci diagnostických měření běžně provádí.

Kmitání reaktoru jako systému je sledováno pomocí čidel posuvu umístěných na tyčích traverzy, alternativní možností pro kmitání reaktoru je využití odchylek signálu z

ionizační komory. Výsledky měření tzv. kývavého pohybu reaktoru ukázaly, že tento typ kmitání nemá vliv na řízenou životnost reaktoru a vnitřních částí.

3.9.3 Hodnocení pevnosti a životnosti nejdůležitějších strojních komponent

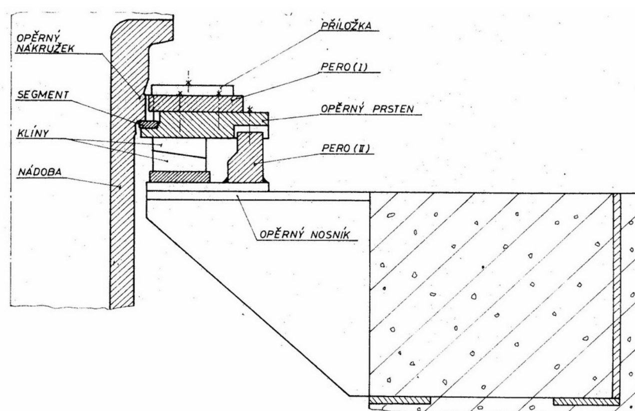
Hodnocení pevnostního návrhu nejdůležitějších strojních komponent

Za nejdůležitější strojní komponenty je nutno považovat komponenty BT1, tj. takové, které tvoří tlakové hranice primárního okruhu.

Opěrné systémy komponent

V dalším bude popsáno hodnocení stability uložení komponent TNR, KO, PG, HCČ při seismické události. Základem je provedení napěťové analýzy a určení hodnoty hraniční seismické odolnosti HCLPF.

Základní schéma uložení TNR na opěrný nosník (krakorec) je patrné z následujícího obrázku:



Obr. 37. Detail uložení tlakové nádoby reaktoru v šachtě reaktoru

Rám uložení se skládá z 24 krakorců, které jsou součástí stavební konstrukce šachty reaktoru. Na každém krakorci je přivařen tzv. mezerník (pero II) a pomocí šroubů M42 je fixován na úložný kruh (opěrný prsten), na jehož přední část dosedá nákružkem TNR. Po obvodě nákružku jsou vyfrézovány drážky, do kterých jsou vsazena pera, čímž se zabrání eventuálnímu otáčivému pohybu TNR kolem její podélné osy. Každé pero je ke kruhu přitaženo dvěma šrouby M48. Možnému „poskočení“ TNR ve vertikálním směru zabraňuje přesah příložek (umístěných symetricky kolem per) přes horní část nákružku. Připevnění příložky na kruh je opět pomocí dvou šroubů M48. Potenciální ztrátu stability TNR by mohlo vyvolat buď usmyknutí svarů mezerníků s krakorci nebo ustřižení per zasahujících do nákružku na nádobě. Výsledky výpočtů ukázaly, že HCLPF pro svary mezerníku 1,547 g a pro pera 1,017 g jsou větší než PGA_{RLE} = 0,1 g, stabilita TNR je tak s velkou rezervou zaručena.

Příruba spodní válcové části KO je šrouby připevněna na protipřírubu přivařenou k osmi trubkám, které jsou přivařeny k deskám ukotveným do betonu na podlaží +10,5 m. V důsledku seismického zodolnění bylo provedeno rozepření na kótě +18,9 m. Toto rozepření je tvořeno objímkou umožňující na základě radiální vůle teplotní dilatace tlakové nádoby KO ve vertikálním směru. Osm desek přivařených k plošině je s objímkou spojeno žebry. Ztráta stability KO by mohlo vyvolat buď porušení nosných trubek v místě přivaření k základu nebo porušení svarového spoje válcového podstavce s tlakovou nádobou KO nebo usmyknutí svarů ramene s plošinou +18,1 m. Výsledky výpočtů ukázaly, že HCLPF pro nosné trubky je 0,225 g, svar podstavce s nádobou KO 4,98 g a svar ramena s plošinou +18,1 m 0,95 g. Je zřejmé, že stabilita KO je zaručena.

Každý ze 6 parogenerátorů je uložen na dvou táhlech umístěných symetricky vůči jeho těžišti ve směru podélné osy umožňujících kývavý pohyb. Ztrátu stability by mohlo vyvolat buď usmyknutí některého ze čtyř čepů nebo přetržení táhla v místě otvoru pro čep. Výsledky výpočtů ukázaly, že HCLPF nejvíce namáhaného táhla je 1,64 g. Je zřejmé, že stabilita PG je zaručena.

Hydraulická část HCČ je uložena v trojnožce. Tvoří jí tři trubky, které jsou ve spodní části propojeny, čímž je zajištěna vertikální stabilita. Kluzný pohyb v rovině je umožněn pomocí kulových opěr. K horní části každé ze tří trubek je přivařena půlkruhová deska vyztužená žebry. Na deskách je uložena ulita HCČ vůči pootočení zajištěna šrouby. Ztrátu stability by mohlo vyvolat současné usmyknutí svaru žebra a úložné desky s opěrou. Výsledky výpočtů ukázaly, že HCLPF stojanu HCČ je 0,155 g. Je zřejmé, že stabilita HCČ je zaručena.

Posouzení namáhání uložení tlakové nádoby reaktoru EDU při LOCA 500

Pro výpočet zatížení vyvolaných havárií s prasknutím primárního potrubí (LOCA) byl vytvořen detailní model uložení TNR, který umožnil výpočet sil a napětí ve šroubech M42 a M48 (viz popis uložení TNR na opěrný nosník) při zatížení naklápěcím momentem působícím na TNR při LOCA v důsledku výtoku chladiva z potrubí pod tlakem. Výpočet byl proveden metodou konečných prvků, realizovanou programovým systémem COSMOS/M.

Na výpočet sil a napětí ve šroubech M42 a M48 navázal pevnostní výpočet kotevních prvků TNR při LOCA havárii. Předmětem výpočtu byly následující kotevní prvky TNR: pero (I), šroub M48, příložka, šroub M42, pero (II).

Z hlediska provozu reaktorového zařízení se při LOCA havárii jedná o havarijní podmínky (HP). Napětí nesmí v souladu s normou PNAE G-7-002-86 převyšovat limity dovolených napětí pro HP (1,4 násobek jmenovitého namáhání v kategorii $(\sigma)_1$ pro šrouby a 1,8 násobek v kategorii $(\sigma)_2$ pro ostatní prvky).

Pevnostní výpočet kotevních prvků TNR EDU při LOCA havárii a s uvážením sil ve šroubech určených na detailním modelu uložení TNR prokázal, že u kotevních prvků: pero (I), šroub M48, příložka, šrouby M42, pero (II) nedojde k překročení určených limitních hodnot.

Hodnocení životnosti nejdůležitějších strojních komponent

V procesu řízení životnosti je nejdůležitější zjistit, které z degradačních mechanizmů (silové nebo teplotní zatížení, koroze) poškozují příslušnou oblast materiálu zařízení rozhodujícím způsobem, vytvořit matematický popis procesu poškozování materiálu a následně určit a hodnotit trend poškozování materiálu a stanovit zbytkovou životnost. K tomuto účelu byl ve spolupráci s Ústavem Aplikované Mechaniky Brno vyvinut software na sledování životnosti zařízení pod názvem DIALIFE.

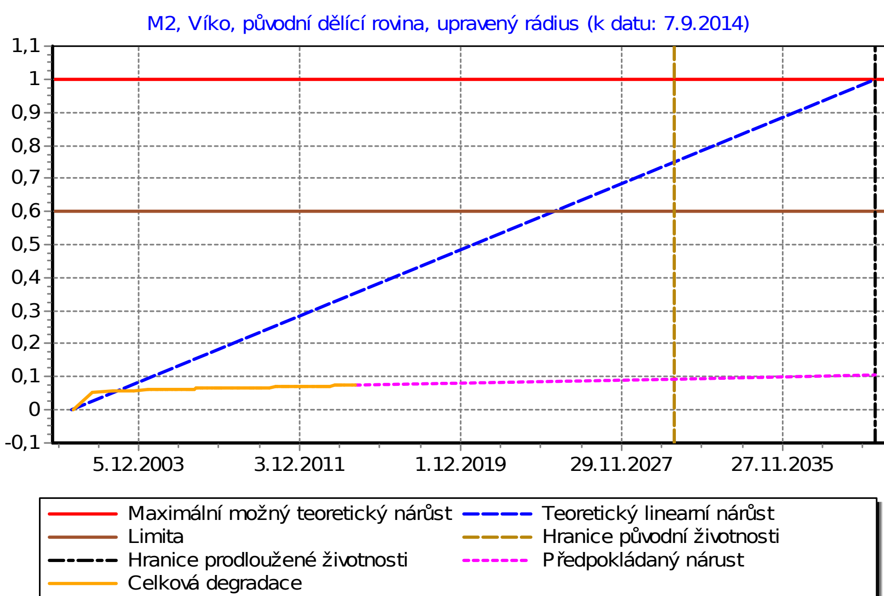
Hodnocení prováděné systémem DIALIFE se dělá po krocích. V prvním kroku se provádí volba způsobu výpočtu a hodnocených míst. V druhém kroku se volí délka časového období pro hodnocení (obvykle od několika dnů až po období jedné kampaně). Podle požadovaného způsobu výpočtu se vybere buď posloupnost zaznamenaných zátěžných bloků nebo sestava vstupních dat zaznamenaných systémy PCS, Teplotechnická měření, příp. dalšími. Výpočet poškození se provádí na základě dílčích hodnot kumulací poškození nebo na základě měřených záznamů provozních veličin.

V prvním případě nejsou měření provozních veličin potřeba. Výpočet napětí se neprovádí. Hodnocení postupného poškozování materiálu se provádí pomocí přičítání dílčích hodnot kumulací poškození v hodnocených místech podle zaznamenaných zátěžných bloků. V databázi DIALIFE existuje popis zátěžných bloků, které mohou nastat během provozu. Ke každému hodnocenému místu jsou přiřazeny přírůstky dílčích kumulací poškození od všech zátěžných bloků.

V druhém případě se vyžaduje znalost teplotních polí, deformací a napětí pro skutečná zatížení. Hodnocení postupného poškozování materiálu za provozu se provádí metodami uvedenými v Normativní Technické Dokumentaci Asociace Strojních Inženýrů (NTD A.S.I.) Sekce III. Na základě časových záznamů měřených parametrů (teplot a

tlaků) se určí průběh mechanického napětí a kumulace únavového poškození (čerpání životnosti). Postup hodnocení je aplikován pro každé hodnocené místo zvlášť.

Výstupem hodnocení je protokol o čerpání životnosti obsahující informace o hodnoceném zařízení, seznam hodnocených míst, výsledky výpočtů poškození za hodnocené období včetně prognózy a stručný komentář (doporučení) k výsledku v nejvíce poškozeném místě. Příklad grafického znázornění výsledku hodnocení je uveden na následujícím obrázku:



Obr. 38. Příklad grafického znázornění hodnocení čerpání životnosti strojních komponent

V případě, že prognózovaná hodnota kumulace poškození (předpokládaný nárůst) nepřekročí limitní hodnotu, zařízení vyhovuje bez dalších doporučení. V případě překročení stávající limity je potřeba provést patřičné nápravné opatření. Prověří se dostatečnost vykonávaných preventivních kontrol a provede se hodnocení přesnější metodou, pro kterou platí vyšší limitní hodnota únavového poškození.

Pokud i nové hodnocení ukazuje na překroční limity před koncem plánovaného provozu, naplánuje se oprava či výměna komponenty nebo zařízení (týká se opravitelných či vyměnitelných částí). U nevyměnitelných komponent je doba vyčerpání jejich životnosti zároveň hranicí životnosti jaderného zařízení jako celku.

Hodnocení zbytkové životnosti nejdůležitějších strojních komponent k datu ukončení příslušné kampaně (1. blok - 29. kampaně, 2. blok - 28. kampaně, 3. a 4. blok - 27. kampaně) ukázalo značnou rezervu v čerpání provozních přechodových režimů uvažovaných pro hodnocení životnosti. Výsledky výpočtů kumulace únavového poškození všech hlavních komponent jsou vyhovující min. do r. 2025. Hodnocení období po r. 2025 ukazuje určitá riziková místa v oblasti opravitelných či vyměnitelných částí TNR (přírubový spoj a austenitická výstelka nátrubků TK na víku TNR). Hlavní přírubový spoj reaktoru a nátrubky HRK mají životnost vyčerpanou přibližně na 20- 30% (podle konkrétní části a reaktorového bloku).

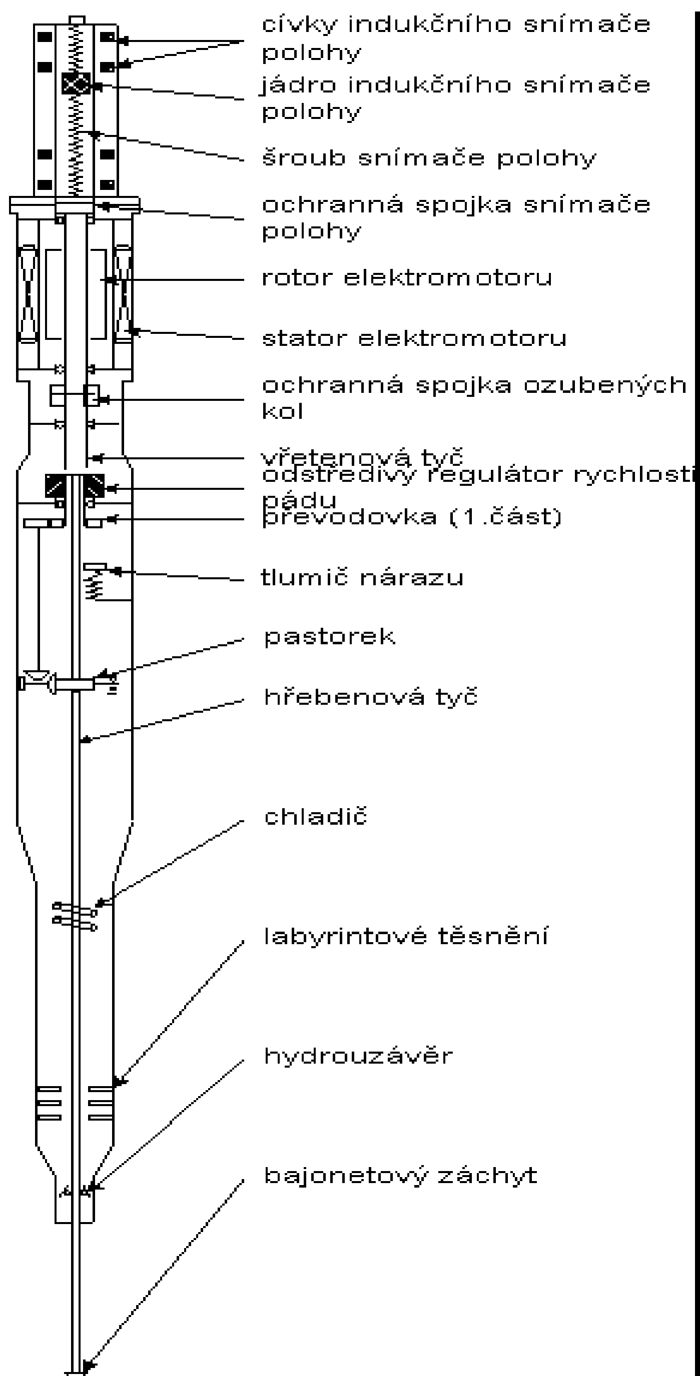
Ostatní komponenty I.O (PG, KO, HCČ, HUA, HCP, atd.) mají životnost nejexponovanějších míst (nátrubek NV PG, nátrubek spodního dna a nátrubek vstřiku KO, dělící rovina HCČ) vyčerpanou přibližně na 10 %, ale pro většinu hodnocených míst je to mnohem méně.

Z hlediska počtu zaslepených (netěsných) trubek PG jsou na tom nejhůře PG 24 a 26, kde je počet zaslepených trubek 1,07 % a 1,57 %. Na ostatních PG je počet zaslepených trubek zhruba o řád nižší, existuje i PG, kde není zaslepena ani jedna

trubka.

3.9.4 Systémy pohonů řídících orgánů

Pohon regulačního orgánu (pohon HRK) je elektromechanické zařízení, které zajišťuje pohyb palivové a absorpční části regulační kazety. Princip činnosti pohonu spočívá v přeměně rotačního pohybu elektromotoru v posuvný pohyb hřebenové tyče, se kterou je přes vloženou tyč spojena kazeta HRK. Zařízení je součástí konstrukčního uspořádání reaktoru a zabezpečuje integritu primárního okruhu. Je umístěno na víku tlakové nádoby reaktoru pod hermetickou obálku v počtu 37 ks. Skládá se z čidla ukazatele polohy, elektromotoru, vřetenového zařízení, reduktoru, hřebenového uzlu, chladiče a hydraulické zarážky.



Obr. 39. Schéma pohonu regulačního orgánu - HRK

Elektromotor pohonu HRK je reakční, synchronní, napájený napětím 130 V o frekvenci 1,1 Hz. Mezi hlavní funkce elektromotoru patří pohyb v režimu regulace, stání pod napětím a pád v režimu odpojení elektrického napájení. Pracovní rychlost kazety je 20 $mm.s^{-1}$. Při dosažení stanovené polohy kazety HRK se elektromotor přepíná na brzdný režim. V tomto případě je napájený stejnosměrným napětím 220 V. Každý elektromotor má střídač, který vytváří střídavé napětí pro jeho pohyb. V případě přerušení napájení dochází k pádu kazety HRK včetně hřebenové tyče pohonu vlastní tíhou. Nastavení rychlosti pádu 20 – 30 $cm.s^{-1}$ zajišťuje odstředivý regulátor.

Každý pohon zabezpečuje plnou provozuschopnost nezávisle na jiných pohonech, nebo společně s nimi v závislosti na příkazech elektrozařízení řídicího systému pro řízení pohybu regulačních kazet (RRCS). Pro zajištění spolehlivého provozu elektromotoru se pod něj přivádí pomocí chladicího hadu voda meziokruhu TF30, která odvádí teplo, které se do pohonu dostává z I.O.

K indikaci polohy kazety HRK během pracovního chodu a k vymezení jejich krajních poloh (dolní koncový vypínač DKV a horní koncový vypínač HKV) slouží čidlo ukazatele polohy. Čidlo ukazatele polohy se montuje na ložiskový štít elektromotoru. Za provozu je čidlo zaplněno vodou primárního okruhu. Pro vlastní indikaci polohy slouží posun matice z magnetického materiálu po šroubu. Matice se pohybuje v dutině, tvořené 10 cívkami, z nichž každá představuje změnu polohy kazety HRK o 250 mm. Indikace polohy pomocí čidla ukazatele polohy není tedy spojitá, ale výška AZ je rozdělena do deseti 250 mm úseků se samostatnou indikací dolní a horní koncové polohy kazety HRK. Jednotlivé výšky HRK jsou vyvedeny jako ukazatele polohy na BD. Pro určení přesné polohy kazety HRK v kterémkoliv místě AZ slouží jemný ukazatel polohy, jehož hodnota je zobrazována na bloku indikace systému RRCS.

Technické podmínky provozu

Pohon dlouhodobě zabezpečuje pracovní cyklický režim, ve kterém se střídá stání pod proudem v brzdném režimu a posuv nahoru nebo dolů v režimu regulace. Doba trvání posuvu dle projektu představuje max. 25 % času pracovního cyklu. Zbývající doba je stání pod proudem v brzdném režimu. Maximální doba nepřerušeného posuvu je 4 min (2 min na každou stranu). Minimální uvažovaný počet pádů kazety HRK po signálu havarijní ochrany je 250 pádů.

Pohon si zachovává provozuschopnost při přerušení dodávky chladicí vody v režimu stání a při zvýšení teploty vody v hermetickém pouzdru nad víkem reaktoru na max. 200 °C. Nepřetržitá doba trvání tohoto režimu může být max. 4 hodiny, za celou dobu životnosti pohonu max. 44 hodin.

Aby nedošlo k poškození izolace elektromotoru, zakazuje se odvzdušňovat pouzdra HRK při teplotě I.O větší než 90°C a tlaku vyšším než 0,6 MPa.

Pohon si zachovává provozuschopnost při parametrech „malé LOCA“ a nevyžaduje zvláštní kontrolu. Funkce pohonu při parametrech „malé LOCA“ není časově omezená.

V režimu „velké LOCA“ lze pohon provozovat v jejím začátku po dobu 5 min. Potom musí být pohon uveden do vypnutého stavu (bez el. proudu). Pokud pohon projde režimem „velké LOCA“ je jeho další provoz možný až po kontrole a v nezbytném případě po výměně elektromechanických uzlů.

Ověření funkce, provoz a životnost pohonů HRK

Pohony regulačních orgánů a ukazatele polohy JE Dukovany byly vyrobeny v závodě Škoda JS Plzeň. Dle technických podmínek TP 10-40/1478/75 na reaktorový komplet byla stanovena životnost pohonů HRK na 5 let.

V roce 1989 byla výrobcem Škoda JS ve spolupráci se sovětskou stranou zpracována dokumentace na prodloužení životnosti Ae 7001/Dok, kde byly stanoveny podmínky a kontroly na prodloužení životnosti pohonů HRK na 10 let provozu.

V roce 1996 byla rovněž výrobcem Škoda JS ve spolupráci s ruskou stranou zpracována dokumentace Ae 8276/Dok na prodloužení životnosti pohonů HRK přibližně na 20 let. V dokumentaci byl stanoven rozsah kontrol pro 1., 2. a 3. kategorii zkoušek a rozsah provádění laboratorních zkoušek. Na základě vyhovujících výsledků kontrol a zkoušek lze rozhodnout o prodloužení životnosti pohonů HRK vždy o další rok.

Kontroly 1. kategorie jsou prováděny každý rok. Provádí se bez demontáže pohonů, přičemž ukazatele polohy se z technologických důvodů demontují vždy. Mezi kontroly 1. kategorie patří vizuální kontroly, kontroly ohmického a izolačního odporu, měření doby pádu HRK a kroutících momentů elektromotoru a kontroly utažení rozebíratelných spojů.

Kontroly 2. kategorie jsou prováděny po 6 ti letech provozu. Provádí se na demontovaných pohonech. Součástí kontrol 2. kategorie jsou také kontroly 1. kategorie. Mezi kontroly 2. kategorie patří vizuální kontroly, měření těsnících ploch a vůlí v mechanismech, kontroly UZV a vybrané kapilární kontroly, měření tahových a zdvíhacích sil, měření proudů elektromotoru, měření signálů cívek a přesnosti ukazování zón, měření síly pružiny bajonetového záchytu a velikosti zdvihu pojišťovací západky.

Kontroly 3. kategorie jsou prováděny po 9 ti letech provozu. Součástí kontrol 3. kategorie jsou i kontroly 2. a 1. kategorie kontrol. Mezi kontroly 3. kategorie patří všechny zbývající vizuální a kapilární kontroly (nezařazené do 2. kategorie), kontroly chladícího okruhu, kontroly ložisek elektromotoru, měření vůle mezi statorem a rotorem, měření indukčnosti vinutí, kontrola elektrické pevnosti izolace, kontroly těsnosti prostoru cívek, kontroly vřetenového zařízení včetně měření kroutícího momentu při prokluzu ochranné spojky a měření odstředivého regulátoru, kontroly reduktoru včetně tlumiče a vodících kladek, kontrola hřebenového uzlu včetně ozubení.

Po 12 a 14 letech provozu se provádí laboratorní zkoušky. Na provedení laboratorních zkoušek byla zpracována výrobcem Škoda JS samostatná dokumentace, která stanovuje zkoušky, kontroly, metalografické a elektrické posouzení stavu jednotlivých vybraných exponovaných částí pohonů HRK a ukazatelů polohy.

Vyhovující výsledky prováděných kontrol a zkoušek ukazují, že stávající pohony HRK bude možné provozovat do roku 2019 až 2020 na HVB 1 a 2020 až 2021 na HVB 2. V současné době je již připraven nákup nových pohonů HRK. Počet a projektová životnost nových pohonů bude stanovena podle varianty dlouhodobého provozu (min. do roku 2035 až 2037).

Projektová zatížení, limitní napětí a přípustné deformace

Všechny informace jsou obsaženy ve zprávě Pevnostní výpočet pohonu regulačního orgánu, Ae 4164/Dok. V úvodní části jsou definovány režimy a podmínky provozu pohonu regulačního orgánu, použité materiály a dovolená napětí. Dále je proveden výpočet převodu reduktoru a účinnosti mechanismu, výpočet doby rozběhu pohyblivých částí pohonu v režimu činnosti havarijní ochrany, pevnostní výpočet pérového nárazníku, výpočet momentů na hřídeli elektromotoru při různých režimech činnosti pohonu, výpočet sil a momentů působící na mechanismy pohonu v různých režimech, výpočet reakcí z ohybových momentů, výpočet statické pevnosti hřídelí a výpočet hřídelí na únavu, výpočet valivých ložisek, ozubených kol, odstředivého regulátoru, výpočet hřídele na kritické otáčky a výpočet hydraulického aretačního zařízení (schopnost zabránění vystřelení kazety při roztěsnění pohonu). Dovolená zatížení nejsou ve výpočtech překračována. Seismické hodnocení pohonu pro PGA 0,1g bylo provedeno v rámci seismické kvalifikace reaktoru se závěrem, že funkční schopnost reaktoru po seismické události zůstane zachovaná.

3.9.5 Vnitřní části tlakové nádoby reaktoru

Vnitřní části tlakové nádoby reaktoru tzv. vnitroreaktorové části (VRČ) tvoří šachta, dno šachty, koš aktivní zóny (koš AZ), blok ochranných trub (BOT) a vložená tyč. Vnitřní části reaktoru zabezpečují integritu a umístění aktivní zóny, správnou funkci řídicích orgánů, proudění primárního média a snižují radiační a tepelné zatížení nádoby. Základní materiál použitý pro všechny součástí uzlů VRČ je chromniklová ocel austenitické třídy, značky 08CH18N10T, vyzkoušená na odolnost k mezikrystalické

korozi. VRČ jsou zařazeny do BT 2 dle vyhl.132/2008 Sb. a jsou kvalifikovány na přenos seizmických zatížení do úrovně PGA 0,1g.

Konstrukční uspořádání vnitřních částí reaktoru

Šachta reaktoru slouží pro uložení a zajištění polohy dna šachty, koše AZ, bloku ochranných trub a svědečných vzorků. Usměrňuje průtok chladiva reaktorem (odděluje vstup a výstup chladiva) a zajišťuje tepelné stínění a ochranu TNR před zářením a neutronovým tokem. V TNR je zavěšena na osazení, vytvořeném v přírubovém prstenci. Konstrukčně je šachta reaktoru dutý válec, svařený z 6 kroužků. Na horní ploše příruby je upevněno 6 trubkových elementů (anuloidů), které se při montáži horního bloku plasticky deformují a zajišťují tak uložení šachty mezi víkem a tělesem reaktoru. Šachta je v TNR uchycena v místě rozdělovacího prstence (vybaveného labyrintovým těsněním pro zmenšení by-passu AZ) a ve spodní části 8 pery, kterými je šachta zajištěna proti pootočení a vibracím. Ve stěně šachty je mezi horní přírubou a labyrintem 1302 otvorů 32 mm pro výstup chladiva z AZ. Pro zajištění vtoku chladiva z tlakových zásobníků jsou v šachtě 2 otvory 250 mm pro vstup chladiva nad AZ. Ve spodní části šachty je opěrný nákružek pro usazení dna šachty. Polohování dna šachty oproti šachtě je zajištěno 3 pery. Technické podmínky provozu pro šachtu reaktoru zakazují práci 6 HCČ při střední teplotě chladiva I.O menší než 200°C a jednostranné zatížení šachty reaktoru prací HCČ.

Dno šachty slouží jako opora koše AZ, přes clony zrovnoměrňuje průtok chladiva k jednotlivým palivovým kazetám a přes soustavu otvorů ke kazetám HRK. Dále zmenšuje mechanické namáhání regulačních kazet pomocí tlumiče, umístěného ve vnitřní trubce, při zapracování RTS (pád HRK rychlostí 20-30 cm/s do AZ). Konstrukčně je dno šachty tvořeno z válcového pláště, eliptického dna, z horní a spodní desky, do kterých je zavařeno 37 vnějších trubek. Ve vnějších trubkách jsou uloženy trubky vnitřní. Opěrná horní deska je vybavena přírubou pro zavěšení do šachty a třemi drážkami pro pera, která jistí dno proti pootočení. V horní desce je 312 škrtících clon proudu chladiva a je do ní ukotveno 37 kanálů s tlumiči pádu kazet HRK.

Koš aktivní zóny slouží k uložení a rozmístění palivových kazet a kazet HRK. Skládá se ze dna, pláště a hraněných plechů. Dno koše je deska, ve které je 312 otvorů pro usazení palivových kazet a 37 šestihranných otvorů s labyrintovým těsněním pro průchod regulačních kazet. Koš AZ je vůči dnu šachty zajištěný 3 vodícími čepy, které brání pootočení koše. Na horní nákružek pláště se ustavuje blok ochranných trub, jeho poloha je zajištěna třemi klíny. K plášti je pomocí šroubů upevněn hraněný plech, který tvoří vnější obvod aktivní zóny ve formě tvarovaného pásu. Technické podmínky provozu pro koš AZ zakazují zvýšení tlakového rozdílu na AZ nad 0,37 MPa při práci 6 HCČ a nad 0,31 MPa při práci 5 HCČ.

Blok ochranných trub (BOT) slouží jako opěrná konstrukce proti zvednutí koše AZ s palivovými články a dna šachty vlivem proudění chladiva. Dále slouží k zajištění roztečí palivových kazet, jako ochrana kazet HRK, vložených tyčí a pro rozmístění a uložení kanálů pro čidla měření teploty a neutronovéhotoku. Konstrukčně se BOT skládá ze spodní a horní desky, mezi kterými je 37 ochranných trub. Na horní desce je navařen plášť, na kterém jsou uchyceny pružinové bloky a 18 vývodů pro měření teplot a neutronového toku. Pružinové bloky umístěné na plášti BOT slouží na přenášení přítlačné síly víka TNR na koš AZ, čímž je bráněno jeho vyplutí vlivem tlakového rozdílu na AZ.

Vložená tyč zajišťuje spojení pohonu HRK s kazetou HRK. K tomuto účelu má v horní části úchyt a na spodní části záchyt bajonetového provedení.

Podmínky zatěžování vnitřních částí reaktoru

Vnitřní části reaktoru jsou projektovány tak, aby snesly namáhání pocházející z provozních, seizmických i nadprojektových podmínek. Jsou to hmotnost palivových kazet a kazet HRK, síla pružin palivových kazet, hmotnost VRČ, síly od chladiva, teplotní spády, síly od rozpínání, síly pružinových bloků BOT, síly pružných segmentů šachty, vibrace, provozní a přechodové jevy, seizmické zatížení a prasknutí primárního potrubí DN 500 (studené nebo horké větve).

Detailní informace jsou obsaženy ve výpočtovém hodnocení pevnosti a životnosti VRČ. Kategorie napětí a jejich limity byly stanoveny podle sovětských norem pro pevnostní výpočty. Pokud jednotlivé kategorie splňují požadavky použitých norem, vznikají v konstrukci pouze pružné deformace, které u žádného konstrukčního uzlu neomezují jeho správnou funkci. Posouzení přípustnosti vzniklých deformací přichází v úvahu tehdy, jestliže odpovídající kategorie napětí prokáže vznik plastických deformací. Pro VRČ byly vypracovány kontrolní výpočty, které jsou přílohou průvodní technické dokumentace. Jsou to výpočty pevnosti, deformací, napětí, kmitání, posuvů a u vložené tyče navíc dynamický výpočet.

Hodnocení vnitřních částí reaktoru VVER 440 z hlediska jejich životnosti

V rámci hodnocení životnosti VRČ byly provedeny výpočty pro předpokládanou dobu provozu minimálně 40 let. VRČ jsou během provozování vystaveny účinkům tepelného, mechanického, korozního a radiačního namáhání. Působením těchto účinků na materiály VRČ dochází během provozování ke změnám materiálových vlastností. Z hlediska provozu tlakovodních reaktorů jsou relevantní především degradační mechanismy, podmíněné účinky neutronového záření: radiační zpevnění, radiační creep, vodíkové a heliové křehnutí a radiací indukovaná segregace. Cílem hodnocení VRČ bylo definovat a predikovat stav materiálů VRČ v horizontu 40 let provozu a navrhnout opatření pro optimalizaci životnosti předmětných komponent. Ve zprávách ÚJV Řež DITI: 302/166 a DITI 2301/221 byla potvrzena životnost VRČ, s výjimkou běžně vyměňovaných částí, na 40 let.

Změna mechanických a korozně mechanických vlastností materiálů v závislosti na toku, případně fluenci v prostředí média primárního okruhu se určuje experimentálně. Fluence rychlých neutronů se stanovují výpočtem s periodou jeden rok pro 5 hlavních komponent vnitřních částí: šachta reaktoru, hraněný plech koše aktivní zóny, plášť koše aktivní zóny, dolní deska koše aktivní zóny a dolní deska bloku ochranných trub. Součástí výpočtů je i predikce fluencí až na 80 kampaní. Zkušební tělesa vyrobená pomocí originálních technologií byla ozářena na vypočtený radiační tok a fluence pokrývající plánovanou životnost VRČ a tahovými zkouškami byly získány fluenční závislosti umožňující stanovit hodnotu daného parametru v závislosti na fluenci. Pomocí fluenčních závislostí a výpočtem stanovených toků (a z nich odpovídajících fluencí) rychlých neutronů je možno pro dané uzly sestrojit takzvané životnostní křivky poskytující informaci o hodnotě materiálových charakteristik (tažnost, kontrakce, rychlost růstu trhliny, mez pevnosti, mez kluzu, iniciační napětí, atd.) v závislosti na době provozu pro jednotlivé VRČ. Model byl dále zpřesněn pomocí korelace mezi hodnotou instrumentované tvrdosti a mezí kluzu (při dosažení určité fluence se asymptoticky přibližuje mezi pevnosti). Pro takto získaný skutečný stav ozářeného materiálu pak byl proveden pevnostní výpočet s cílem určení čerpání životnosti v požadovaném uzlu.

Podmínky čistě radiačního poškozování byly simulovány v čistě inertní atmosféře (argon), při kterých byly provedeny tahové zkoušky při teplotách 80°C (podmínky při odstávce) a 320°C (podmínky při nom. provozu). Problematika korozního praskání ovlivněného zářením (IASCC - Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracing) byla zkoumána provedením pomalé tahové zkoušky při teplotě 320°C. Na rozlomených vzorcích ze všech druhů provedených zkoušek byla provedena fraktografická analýza.

Bylo zjištěno, že mechanismus porušení základního materiálu 08Ch18N10T (austenitická nerezavějící ocel stabilizovaná titanem) ani materiálů svarových spojů nezávisí v rozmezí zkoumaného intervalu fluencí ani na fluenci ani na teplotě. Výsledkem pomalých tahových zkoušek bylo určení porušení daného materiálu, stanovena délka trhliny a učiněn odhad rychlosti šíření trhliny.

Na základě výše uvedených experimentálně zjištěných výsledků byly získány plynulé fluenční závislosti šetřených parametrů, tzv. modelové křivky. Byl vytvořen analytický tvar závislostí mechanických a korozně mechanických vlastností a došlo-li k růstu trhliny, příp. bylo-li na lomové ploše pozorováno interkrystalické porušení, tak také rychlosti šíření korozní trhliny a procenta interkrystalického lomu na fluenci, a to vždy jednak jako regresní funkce, která modeluje danou experimentálně získanou

závislost, a jednak jako 95% konfidenční interval, ze kterého byly získány konzervativní obálky. Výsledné závislosti umožňují predikovat změny parametrů s fluencí, tj. odhadovat chování materiálů VRČ během provozu a kvantifikovat zbytkovou životnost komponent VRČ. Velmi dobrá shoda modelu s experimentálními daty byla ověřena jak pro mez kluzu a mez pevnosti, tak pro celkovou tažnost.

Pro hodnocení předmětných komponent VRČ je použit kombinovaný postup porovnání jednotlivých provozních zátěží s hodnotami, které mohou být z hlediska experimentálně stanovených vlastností považovány za kritické. Hlavním sledovaným parametrem je mez kluzu. Vypočtené hodnoty pro šachtu reaktoru jsou u statického namáhání $(\sigma)_1$ = 10 MPa, rozkmitu napětí $(\sigma)_{RV}$ = 63,3 MPa a vypočtené napětí pro událost LOCA $(\sigma)_1$ = 227 MPa v místě maxima fluence, tj. v oblasti přibližně na úrovni středu AZ. Hodnota meze kluzu materiálu se pohybuje v závislosti na ozáření od 227 MPa do 825 MPa, V saturovaném stavu po cca 10 letech provozu se již základní materiál nemění a mez kluzu (i pevnosti) se pohybuje okolo 670 MPa. Vypočtená napětí jsou pod dovoleným napětím, možnost vzniku necelistvostí v základním materiálu šachty reaktoru během provozu se ukazuje jako nepravděpodobná. Materiál má dostatečné rezervy vůči dovoleným namáháním při normálním provozu i při MZV. Pokud se týče velké LOCA, výpočet připouští určité zplastizování. Maximální mechanické napětí v případě LOCA je na plášti koše AZ 156,3 MPa. Tato hodnota je nižší než dovolené namáhání. Maximální mechanické namáhání ve svaru trubky a spodní desky BOT je také nižší než dovolené.

Výsledky výpočtů mechanických namáhání a deformací ukazují, že v žádném z režimů včetně LOCA nedojde ke zvýšení napětí nebo deformací, které by mohlo vést, při zachování chemického režimu podle LaP, k iniciaci korozního praskání. Základní materiál ani žádný z materiálů svarů neprokazuje citlivost ke koroznímu praskání za podmínek primárního okruhu. Všechny zkoušené materiály, použité pro výrobu komponent vnitřních částí reaktorů VVER 440, se vyznačují saturací mechanických vlastností s rostoucí fluencí. K saturaci dochází již při nižších fluencích a tudíž lze předpokládat pouze malé změny vlastností nad těmito fluencemi. Zároveň lze s vysokou pravděpodobností předpokládat zachování těchto vlastností pro vysoké fluence, které již není možné experimentálně postihnout. Zvýšení výkonu reaktoru na 105 % se projevilo jen mírným zvýšením toku neutronů na VRČ. Vzhledem k současnému trendu růstu neutronové zátěže lze příznivě hodnotit čerpání životnosti VRČ pro 40 let provozu i pro výkon 105 %.

3.9.6 Zkoušení čerpadel a armatur

Pravidelné zkoušky čerpadel a armatur jsou důležité z hlediska jejich spolehlivosti. Každé zařízení je od výrobce vybaveno průvodní dokumentací, a pokud se jedná o vybrané zařízení (VZ) podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. o systému jakosti, je na každé takové zařízení zpracován individuální program zabezpečování jakosti (IPZJ). Podle těchto IPZJ se provádí kontrola zařízení při výrobě, montáži, přípravě ke spouštění, provozu, opravách a rekonstrukcích.

Předprovozní zkoušky

V rámci spouštění systémů v období najíždění elektrárny byla zpracována dokumentace pro spouštění Jc 1305 Z (ŠKODA, koncernový podnik Plzeň, ZVE Praha - projekty PE 2, Prosinec 1982). Součástí této dokumentace jsou i „Programy PKV (funkčních zkoušek – předkomplexního vyzkoušení) dílčích funkčních celků technologických systémů primární a sekundární části“, které v sobě zahrnují i zkoušky čerpadel a armatur. Výsledky zkoušek jsou podloženy protokoly s referenčními hodnotami rychlostí, tlaků, průtoků, vibrací, teplot ložisek, medií, mazacích olejů, atd. uloženými u provozovatele JE.

Provozní kontroly a zkoušky

Provozní kontroly jsou prováděné podle programů a plánů provozních kontrol zařazených do dokumentace jakosti EDU: J10 - program provozních kontrol (PPK), J11 - dlouhodobý plán provozních kontrol (PPK), J12 - prováděcí plán kontrol v daném roce. Účelem kontrol je prokázání že zařízení je schopno plnit požadovanou funkci a nevyskytují se na něm netěsnosti, které by mohly vést k úniku radioaktivních látek.

Základními metodami provozních kontrol jsou vizuální kontrola, kapilární kontrola, kontrola prozářením, měření korozních úbytků, tlakové a těsnostní zkoušky a diagnostika.

Připravenost systémů plnit své bezpečnostní funkce se dále prokazuje prováděním funkčních zkoušek - kontrola připravenosti systémů (ověření správného nastavení armatur a kontrola úrovně hladiny v nádržích), kontrola chodu čerpadel na recirkulaci včetně přechodu napájení na ZN II a DG, kontrola průchodnosti signálů ESFAS na akční členy systémů, kontrola dodávky roztoku H3BO3 do I.O, atd. Tyto zkoušky jsou součástí Plánu provozních zkoušek (PPZ) vycházejících z LaP. PPZ nejsou přímou součástí PPK. Zkoušky jsou prováděné operativním směnovým personálem podle řady provozních předpisů B005 „Plán kontrol a pravidelných činností“, technologických provozních předpisů jednotlivých systémů, provozních instrukcí a operativních programů. Každoročně je vydávána PI „HMG zkoušek havarijních systémů, ochrany a blokády (OaB) a přejíždění pohonů ostatních systémů“, která je v souladu s výše uvedenou provozní dokumentací.

3.10 Seismická způsobilost instrumentace a elektrického zařízení seismické kategorie 1 (Kategorie S)

3.10.1 Metody a postupy pro určení způsobilosti elektrického zařízení a instrumentace

Cílem seizmického hodnocení je dokázat, že zařízení budou splňovat požadavky na funkčnost za všech projektem předpokládaných stavů včetně seismické události po celou dobu životnosti elektrárny. Toto je možné dokázat několika způsoby:

- výpočtem a analýzou,
- na základě zkušenosti,
- na základě předcházejících seizmických hodnocení,
- testováním na seizmickou odolnost,
- vzájemnou kombinací předcházejících způsobů.

<u>Výpočet a analýza</u>

Seizmické ověřování analýzou je používané u takových položek, které jsou ojedinělé a mají také rozměry, které neumožňují kvalifikaci testovými zkouškami. Jsou to obvykle stavební konstrukce, nádrže, potrubní a kabelové trasy, apod. Skříně a panely SKŘ a elektro byly hodnocené metodou GIP (Generic Implementation Procedure for Seismic Verification of Nuclear Power Plant Equipment, Rev. 2, SQUG, 1990).

<u>Hodnocení seizmické odolnosti na základě zkušeností</u>

Tato metoda je pro nově dodávaná a inovovaná zařízení zatím málo používaná, avšak v posledních letech nabývá na významu tím, že jsou k dispozici údaje o chování zařízení, které byly vystavené skutečným zemětřesením. Ve všeobecnosti je tato metoda akceptovatelná, pokud jsou k dispozici údaje o zemětřesení, jehož úroveň byla vyšší, než je ta, na kterou má být zařízení kvalifikované. Součástí kvalifikace je analytické hodnocení podobnosti zařízení.

<u>Seizmická kvalifikace na základě předcházejících seizmických hodnocení</u>

Pokud existují údaje o seizmickém hodnocení některých prvků, je možné tuto bázi údajů použít pro kvalifikaci, jestliže:

- prvky jsou stejné, nebo podobné těm, které je potřebné kvalifikovat,
- použité spektrum zrychlení při seizmickém testování obaluje shora požadované spektrum odezvy,
- testovací podmínky byly tvrdší anebo alespoň stejné, jako jsou požadované.

Tato metoda má velký význam jak při projektování, tak i při seizmické kvalifikaci existujících elektráren. V ČR a SR byly takto některé prvky kvalifikovány. Pokud výsledky

kvalifikace vyhovují na jedné elektrárně (např. JE Bohunice), je možné je použít pro stejné prvky na jiné elektrárně (např. JE Dukovany).

Seizmické hodnocení testováním

Nejpoužívanější a zároveň nejobjektivnější metoda pro kvalifikaci zařízení SKŘ a elektro, nebo i celých souborů prvků (panely, pulty, rozvaděče, nebo montážní rámy s namontovanými přístroji) jsou typové kvalifikační zkoušky. Všeobecně by se seizmickým testům měly podrobovat prvky a zařízení, které byly vystavené stárnutí, ať už přirozenému nebo umělému, aby se dokázalo, že jsou schopné udržet svoji seizmickou odolnost po celou dobu provozní životnosti. Zařízení, které jsou umístněné v "mírném" prostředí a které nemají signifikantní mechanismy stárnutí, není potřebné testovat zestárnuté.

Testovací procedura musí obsahovat následující činnosti:

1) stanovení seizmického zatížení (požadované spektrum odezvy) a postup testování,
2) stanovení vstupního pohybu testovacího stolu (testovací spektrum odezvy),
3) stanovení montážních podmínek (stejné jako v provozu),
4) připojení provozního zatížení (teplota, tlak, napětí, výkon),
5) monitorování vstupní odezvy (s cílem objevit vlastní rezonance) a funkční způsobilost zařízení,
6) demonstrování provozuschopnosti (základní technické parametry stejné jako před testem, s tolerancí předepsanou výrobcem).

Výstupem prokázání seismické odolnosti jsou zprávy o seizmické kvalifikaci, které pro jednotlivé komponenty nebo zařízení specifikují zadání kvalifikačních požadavků, uvádí podrobnosti o použitých metodách kvalifikace a jejich výsledcích.

3.10.2 Hodnocení seizmické způsobilosti instrumentace a elektrického zařízení

Kvalifikace zařízení EDU probíhala po etapách. V 1. etapě byl proveden výběr zařízení pro kvalifikaci. Ve 2. etapě bylo zařízení určené pro seizmickou kvalifikaci rozdělené až do úrovně prvků a prvky byly rozdělené do kvalifikačních skupin, pro které se stanovil postup testování. Z pohledu kvalifikace elektro a SKŘ je to jeden z nejdůležitějších kroků, protože zařízení elektro a SKŘ je kvalifikované na základě kvalifikace prvků a teprve na základě zpětného složení zařízení se vystavuje výsledný kvalifikační protokol. Ve 3. etapě byly provedeny kvalifikační zkoušky a vystaveny kvalifikační protokoly testovaných prvků. Kvalifikační protokoly zařízení byly vystaveny na základě kvalifikačních protokolů prvků, ze kterých se zařízení skládá. V další etapě proběhl program řešení nápravných opatření, v rámci kterého se odstranily všechny zjištěné nedostatky. Nápravná opatření probíhala opravou stávajícího zařízení tam, kde to bylo možné a ekonomicky efektivní. Jinde se přistoupilo k výměně zařízení za nové, seizmicky odolné.

Nově instalované zařízení obnovovaných systémů SKŘ je dodáváno jako seismicky odolné. Bylo provedeno i seismické zodolnění skříní, měřících stendů, rozvaděčů, kabelových konstrukcí a impulsních potrubí. Lze proto konstatovat, že při postulované seismické události bude zařízení elektro a SKŘ plnit požadované funkce a mechanickým rázem nebo pádem nepříznivě neovlivní stávající zařízení zajišťující bezpečný provoz bloku.

3.11 Vliv okolního prostředí na konstrukci strojního a elektrického zařízení

Dokladováním schopnosti zařízení jaderné elektrárny vykonávat bezpečnostní funkce jak za normálních, tak i havarijních podmínek se zabývá program kvalifikace zařízení. Tato kapitola se zabývá odolností zařízení vůči podmínkám okolního prostředí, ochrana proti zemětřesení je řešena samostatně v projektu seizmické kvalifikace.

3.11.1 Specifikace zařízení a podmínky okolního prostředí

Výběr zařízení pro kvalifikaci byl proveden podle toho, zda zařízení plní některou bezpečnostní funkci. Pro každou bezpečnostní funkci vybranou pro kvalifikaci a pro každý provozní režim byl stanoven minimální rozsah zařízení, které budou zajišťovat požadovanou činnost. Rozsah zařízení obsahuje všechny oblasti - strojní, elektro, SKŘ i stavební objekty.

Jako podmínky prostředí byly uvažovány skutečně možné, očekávané parametry běžného prostředí, tzv. mírné podmínky a parametry pro podmínky při uvažování nehod typu s únikem vysokoenergetického média LOCA (únik primárního chladiva) a HELB (únik vysokoenergetické vody nebo páry ze sekundárního okruhu), tzv. drsné podmínky. Zařízení elektro a SKŘ musí být dále odolné proti vlivu elektromagnetických jevů. Zařízení s požadavkem kvalifikace potom můžeme zařadit do jedné nebo více skupin:

- L požadavek odolnosti na podmínky LOCA,
- H požadavek odolnosti na podmínky HELB,
- O požadavek odolnosti na normální (obyčejné) podmínky,
- E požadavek na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC).

Parametry prostředí se dají z hlediska druhu rozdělit do čtyř skupin:

1. Termohydraulické parametry (teplota, tlak, vlhkost, zaplavení, sprchování)
2. Dozimetrické (radiační) parametry (druh radiace, dávkový příkon, integrální dávka)
3. Vibrace (vibrace neseismického původu - provozní, zemětřesení – viz kap. 3.7 a 3.10)
4. Ostatní parametry (EMC, chemické parametry)

Parametry prostředí za normálních podmínek lze měřit přímo v elektrárně, havarijní parametry prostředí mohou být určeny pouze teoreticky na základě analýz možných havárií. Maximální hodnoty byly určovány obálkovou metodou. Aktualizované parametry prostředí jsou uvedeny v dokumentu Stanovení parametrů prostředí pro kvalifikaci zařízení JE Dukovany, EQ-C2-90-00/01-rev3.

3.11.2 Zkoušky a analýzy způsobilosti

Hlavními metodami jsou podobně jako u seismické kvalifikace testy, analýzy, provozní zkušenosti, provozní analogie a jejich kombinace.

Kvalifikace mechanických zařízení na parametry prostředí se týká aktivních členů bezpečnostních systémů, zejména vybraných armatur a čerpadel, které musí spolehlivě pracovat v daných provozních anebo havarijních a pohavarijních režimech.

Kvalifikace mechanických zařízení pasivních - potrubí, nádob, filtrů, výměníků, se provádí pouze v případech, pokud tato zařízení obsahují komponenty z nekovových materiálů, které podléhají procesu stárnutí vlivem nepříznivých účinků prostředí (teploty, vlhkosti, radiace apod.).

Kvalifikace pasivních mechanických zařízení kovových je součástí projektové dokumentace, která s dostatečnou mírou bezpečnosti počítá s nepříznivými vlivy prostředí (koroze, eroze, křehnutí) i vlivy abnormálních provozních podmínek (projektové havárie). Průkazem kvalifikace těchto zařízení je kompatibilita výpočtů s požadavky na podmínky prostředí, na které se zařízení kvalifikuje.

U kvalifikace elektro a SKŘ byl použit podobný postup jako pro zařízení strojní. Pro zařízení ze seznamu pro kvalifikaci byla provedena kontrola funkční způsobilosti v normálních, havarijních i pohavarijních podmínkách včetně EMC. Zařízení s nekompletní dokumentací bylo podrobeno typovým kvalifikačním zkouškám a výpočtům, včetně fyzické inspekce na místě („on site“). Z těchto zkoušek pořízené hodnotící zprávy tvoří kvalifikační dokumentaci.

Zařízení EDU s požadavkem kvalifikace splňuje požadavky na odolnost vůči podmínkám okolního prostředí i požadavky na EMC. Doklady o kvalifikaci tohoto zařízení

jsou součástí příslušné PTD (Průvodní technické dokumentace) a archivovány v centrálním archívu EDU.

3.11.3 Udržování kvalifikace

Cílem procesu udržování kvalifikace je udržování platnosti kvalifikační dokumentace po celou dobu životnosti elektrárny. Podstatnými vstupy do procesu udržování kvalifikace jsou změny konfigurace zařízení, požadavky na změnu seznamu zařízení pro kvalifikaci a podmínek prostředí a provozní zkušenosti. Důležitou činností je sledování čerpání kvalifikované životnosti a plnění kvalifikačních podmínek.

Kvalifikační podmínky jsou v podstatě požadavky na preventivní údržbu (PÚ), což u strojního zařízení představuje periodickou výměnu těsnění a mazacích hmot, diagnostiku nebo funkční zkoušky. U zařízení elektro a SKŘ se jedná o výměnu čidel měření, napájecích zdrojů nebo těsnění.

Součástí udržování kvalifikace jsou rovněž přidružené programy řízeného stárnutí, provozní diagnostiky a monitorování provozních podmínek, sledování trendu poruch, a programy obnovy a výměn zařízení.

3.12 Posouzení odolnosti vůči dalším rizikům

3.12.1 Analýza požárního rizika

Základním národním dokumentem pro oblast požární ochrany je zákon o požární ochraně číslo 133/1985 Sb. ve znění pozdějších předpisů a prováděcí vyhláška o požární prevenci číslo 246/2001 Sb. Z těchto národních dokumentů vyplývá povinnost pro pracoviště s vysokým požárním rizikem vypracovat „Posouzení požárního nebezpečí“. Cílem tohoto posouzení je stanovit postup, případně požární bezpečnostní opatření, jak předcházet možnosti vzniku požáru, popřípadě jak účinky požáru omezit na nejmenší možnou míru. Vlastní posouzení požárního nebezpečí se musí detailně zabývat zejména:

1) Zhodnocením možnosti vzniku a šíření požáru
2) Zhodnocením evakuace osob, zvířat a majetku
3) Stanovením způsobů účinné likvidace požáru

Vzhledem k tomu, že výše uvedené posouzení požárního nebezpečí je zaměřeno specificky na oblast nebezpečí vzniku požáru a nejsou přitom brány v úvahu prvky jaderné bezpečnosti, bylo nutné vypracovat další část posouzení nazvané „Analýza požárního rizika“. Tato analýza vychází z požadavků IAEA (bezpečnostní návod 50-SG-D2 „Fire Protection in Nuclear Power Plants“ a navazující předpisy). Primárním cílem analýzy požárního rizika je demonstrovat bezpečnost systémů nutných pro bezpečné odstavení a dochlazení reaktoru.

Koncepce ochrany do hloubky

Požární ochrana na jaderné elektrárně musí kromě ochrany osob a materiálních hodnot zajistit plnění cílů jaderné bezpečnosti i v případě požární události tak, aby nebylo ohroženo plnění základních bezpečnostních funkcí:

- Zabezpečit bezpečné odstavení reaktoru a jeho udržení v odstaveném stavu
- Zabezpečit odvod zbytkového tepla po odstavení reaktoru
- Zabezpečit prostředky na snížení možnosti úniku radioaktivních materiálů a jejich zachování v přijatelných limitech

Koncepce ochrany do hloubky v oblasti požární ochrany má tři části:

1. Prevence (zabránění vzniku požáru) - dodržování požárně bezpečnostních zásad
2. Detekce a represe - včasná detekce a rychlé uhašení požáru (hasicí systémy, ruční hašení)
3. Zabránění šíření požáru - rozdělení objektů do požárních úseků, využití požárně dělicích konstrukcí, přepážek a uzávěrů (projektové řešení elektrárny)

Posouzení požárního nebezpečí a výpočet požárního zatížení

Výchozím dokumentem pro posouzení požárního nebezpečí jsou normy ČSN 73 0802 a ČSN 73 0804 (Požární bezpečnost staveb). Používá se následující postup:

- Určení objektů a činností se zvýšeným požárním nebezpečím, pro které se bude „Posouzení požárního nebezpečí“ zpracovávat.
- Určení technologií a provozů, kde lze předpokládat možnost vzniku či šíření požáru.
- Posouzení požárních úseků (velikost, vybavení, odstupové vzdálenosti) a požární odolnosti požárně dělících konstrukcí (stěny, stropy, uzávěry atd.), zda vyhovují současně platným normám.
- Posouzení možnosti šíření požáru s ohledem na uspořádání objektů do požárních úseků.
- Posouzení možnosti evakuace osob s ohledem na požárně bezpečnostní (EPS - zvuková signalizace) a organizační opatření (rozhlas, vycvičenost osob atd.), vyhodnocení řešení únikových cest, zda vyhovují současně platným normám.
- Posouzení možnosti šíření požáru v jednotlivých objektech, zda jsou současné technické prostředky a personál pro likvidaci případného požáru dostačující.
- Kontrolní výpočet, zda množství a druh přenosných hasících přístrojů v jednotlivých požárních úsecích odpovídají současně platným normám.
- Posouzení organizační struktury systému požární ochrany, posouzení stávající dokumentace (druh a rozsah).
- Implementace případných opatření na zlepšení stavu požární ochrany.

Provedené posouzení požárního nebezpečí v EDU prokázalo, že požární bezpečnost staveb a technologií je na velmi dobré úrovni. Pro pracoviště se zvýšeným nebezpečím požáru jsou zpracovány požární řády a požárně poplachové směrnice. Průkazem úspěšné prevence je i statistika výskytu požárů, která za dobu činnosti elektrárny hovoří zcela jednoznačně ve prospěch vhodně implementované preventivní požární ochrany.

Analýza požárního rizika

Primárním cílem analýzy požárního rizika je demonstrovat bezpečnost systémů nutných pro bezpečné odstavení a dochlazení reaktoru. Při vyhodnocování požární ochrany bezpečnostních systémů hodnotíme protipožární zajištění jednotlivých požárních úseků a vliv požáru uvnitř požárního úseku na jeho další části. Postup analýzy požárního rizika je následující:

1. Shromažďování dat
2. Analýza rozvoje požáru
3. Analýza důsledků požáru
4. Zhodnocení adekvátnosti protipožárních opatření
5. Úvahy před stanovením jednotlivých opatření pro zlepšení stavu
6. Opakování analýzy

Analýza požárního rizika EDU byla provedena v souladu s národními i mezinárodními předpisy. Při zpracování analýzy se použila metoda konzervativního inženýrského hodnocení kombinovaná s dílčími výpočty (např. pro rozvoj požáru) i počítačovým modelováním. Při vlastním zpracování analýzy požárního rizika EDU1-4 bylo použito programové vybavení schválené Hasičským záchranným sborem ČR (WINFIRE OFFICE).

Komplexní analýza požárního rizika EDU shrnula práce provedené v jednotlivých oblastech posuzování požárního rizika. Bylo ověřeno umístění a oddělení bezpečnostně významných zařízení, posouzena požadovaná požární odolnost hranic požárních úseků, zhodnoceny požadavky na systémy potlačující požár i ostatní opatření nezbytné pro naplnění požadavků požární ochrany. Za nedílnou součást analýzy je nutné považovat pravděpodobnostní a deterministické hodnocení požárního rizika.

Pravděpodobnostní hodnocení požárního rizika

Nejprve se určil seznam bezpečnostně významných místností z hlediska případné požární události. Pravděpodobnostní požární analýza používá systematicky přístup, kdy vybírá ty místnosti (požární úseky), které obsahují bezpečnostně důležité komponenty (nebo jejich kabelové trasy) důležité pro odstavení bloku nebo jejichž porucha by vedla k

rychlému odstavení bloku. Takto získaná množina se rozšířila deterministickou analýzou o některé místnosti související se vznikem ostatních iniciačních událostí (ztráta hlavních napájecích čerpadel parogenerátorů (ENČ), únik chladiva (LOCA) na ucpávkách hlavních cirkulačních čerpadel primárního okruhu (HCČ), ztráta 400 kV atd.). Všechny tyto místnosti lze označit za bezpečnostně významné z hlediska požární události. Pro takto získané místnosti byly provedeny dílčí analýzy požárních scénářů, jejichž výsledky tvoří jednotlivé příspěvky k celkovému požárnímu riziku.

Nejvýznamnějším požárním scénářem z hlediska rizika provozu bloků EDU1-4 je požární událost turbínového oleje v prostoru turbogenerátoru (TG) na strojovně. Tato požární událost může způsobit ztrátu vnějších elektrických zdrojů bloku (400 kV a 110 kV) a všech komponent a zařízení na strojovně a představuje cca 89% podíl na celkovém požárním riziku.

Druhou nejzávažnější možnou požární událostí na EDU je požár uniklého oleje na palubě pohonů HCČ (A301/1), který ve svém důsledku může vést až k roztěsnění ucpávek HCČ a úniku primárního chladiva na palubu HCČ a dále pak přes drenáž do boxů parogenerátorů (A201/1). Uvedený scénář reprezentuje cca 11% z celkového požárního rizika.

Ostatní požární scénáře se jeví podle pravděpodobnostní analýzy jako zanedbatelné z pohledu požárního rizika i z pohledu rizika provozu bloku. Výsledné hodnoty požárního rizika spojeného s provozem jaderného bloku EDU na výkonu při vyjádření v pravděpodobnosti tavení aktivní zóny (CDF) a časného velkého úniku radioaktivních látek (LERF) odpovídají hodnotám: CDF 4,00 x 10^{-7}/rok, LERF 4,25 x 10^{-8}/rok.

Za dominantní požární scénáře v odstavných a nízkovýkonových stavech lze označit požár oleje HCČ na palubě pohonů HCČ (A301/1) a požár vedoucí na výpadek pracovního dochlazovacího čerpadla. Výsledné hodnoty požárního rizika pro nízkovýkonové a odstavné stavy jsou: CDF 5,18 x 10^{-9}/rok.

Deterministické hodnocení požárního rizika

Ve všeobecné části byly zhodnoceny jednotlivé systémy mající vliv na elektrárnu jako celek. Jednalo se zejména o sekundární účinky požárů a hasicích zařízení jako jsou náhodná spuštění hasicího zařízení či druhotné účinky způsobené přímým působením požáru nebo hasicí látky (toxické produkty vzniklé při hoření či hašení).

Ve všech hodnocených prostorech hlavních výrobních bloků (HVB) se může vyskytovat člověk, umělé hmoty, kovy a stavební konstrukce. U většiny látek vyskytujících se v uvedených prostorech byl proveden výčet technicko- chemických vlastností. Byl také hodnocen vliv záplav na elektrická zařízení a z toho vyplývající možné ohrožení bezpečného odstavení reaktoru. Při hodnocení hasebních látek se věnovala zvláštní pozornost problematice toxicity a reakce hořícího materiálu s hasební látkou. Protože všechna používaná hasiva jsou netoxická, lze jejich zbytky spláchnout do kanalizace. Dekontaminaci potřísněných prostorů a předmětů lze pak provést základními prostředky, jako vodou se saponátem.

Největší nebezpečí při požáru a následném hasebním zásahu hrozí pro hasiče, ale i pro stavební konstrukce a instalované stroje a zařízení v případě hoření PVC a PE. Prostory po těchto požárech by měly být podrobeny důsledné kontrole zejména na korozi kovů. V případě, že se v prostoru nachází spínací kontakty (relé, stykače apod.), bude nutné zkontrolovat stav každého kontaktu, případně relátka vyměnit za nová. Pro zmírnění následků (zejména na ocelové konstrukce) se doporučuje bezprostředně po zásahu neutralizovat zasažené povrchy 10% roztokem jedlé sody.

Deterministické hodnocení jednotlivých objektů obsahuje technické charakteristiky objektu (parametry, stavební materiály, atd.), rozbor požárního zatížení (hořlavé látky v objektu – kabely, olej, vodík, elektrická zařízení atd.), zdroje iniciace (zapálení), popis pasivního opatření požární ochrany (požárně odolné konstrukce, požární uzávěry a jejich požární odolnost), popis aktivního opatření požární ochrany (EPS; SHZ – vodní, CO_2, halon; odvětrávání kouře; přenosné hasicí přístroje).

Hodnocení bylo provedeno pro všechny objekty a prostory se zvýšeným požárním nebezpečím - reaktorovna, místnost pohonů HCČ, olejové hospodářství HCČ, olejové hospodářství doplňovacích čerpadel, strojovna, vodíkové hospodářství TG, olejové hospodářství TG, centrální olejové hospodářství, kabelové kanály, dieselgenerátorová stanice, přístavek superhavarijních napajecích čerpadel (SHNČ), sklad hořlavin a mazadel.

U většiny prostor (požárních úseků) těchto objektů byl proveden výpočet a zatřídění objektu (prostoru) do příslušného stupně požární bezpečnosti dle ČSN 73 0804. Ve všech hodnocených případech lze konstatovat, že vypočtená ekvivalentní doba trvání požáru (Te) je nižší, než doba odolnosti stavebních konstrukcí jednotlivých požárních úseků. To znamená, že i nehašený požár by se neměl dostat do sousedního požárního úseku.

Deterministické hodnocení hasebních prostředků a požárně-bezpečnostních prvků v EDU

Jedná se především o požární vodu, stabilní skrápěcí a hasicí zařízení, elektrickou požární signalizaci a zařízení pro odvod tepla a kouře.

Systém požární vody je určen k napájení vnějšího požárního vodovodu, na kterém jsou osazeny podzemní a nadzemní požární hydranty a na který jsou napojeny systémy vnitřních požárních vodovodů jednotlivých stavebních objektů EDU a stabilní systémy vodního hašení a skrápění. Celý systém je možno napájet ze dvou nezávislých čerpacích stanic. Potrubní rozvody hydrantové sítě jsou dostatečně dimenzovány. Požární čerpadla mají elektrické napájení zálohované nouzovým napájením z dieselgenerátorů. V elektrárně je prakticky nevyčerpatelná zásoba vody.

Stabilní skrápěcí zařízení (SSZ) v kabelových prostorech slouží ke skrápění a ochlazování těchto prostor v případě požárů. V kabelových kanálech jsou hasicí lišty umístěné mezi kabelovými lávkami a v kabelových stoupačkách pod stropem místnosti. Pro účinnou funkci je třeba dodržovat uzavření daného prostoru. Organizačním opatřením je nastavena kontrola uzavření požárních dveří a uzávěrů. Spouštění skrápěcího zařízení je automatické od systému elektronické požární signalizace (EPS).

Stabilní hasicí zařízení (SHZ) pro ochranu venkovních transformátorů (300 MVA, 40 MVA a 32 MVA) je konstruováno tak, aby současně s hašením bylo zabezpečeno i intenzívní ochlazování transformátoru. Ke každému transformátoru přísluší jeden hasební úsek tvořený rozvodným prstencem a rámovou konstrukcí s hasicími lištami osazenými rozprašovacími hubicemi. Hubice vytvářejí kolem transformátoru vodní mlhu, která vzniklý požár uhasí a transformátor intenzívně ochlazuje. Spouštění hasicího zařízení je automatické od systému EPS.

SHZ CO_2 je určeno k hašení požárů v centrálním olejovém hospodářství v objektu strojovny. Ovládacím centrem celého zařízení je ústředna SHZ. Ústředna v případě požáru nejprve zajistí výstražnou akustickou signalizaci a po časové prodlevě zajistí vypuštění hasiva do chráněného prostoru. Současně se spuštěním SHZ se v příslušném chráněném prostoru automaticky vypíná vzduchotechnické zařízení.

SHZ halonové je určeno k hašení požárů vybraných prostorů tzv. příčné a podélné etažérky (PRE, POE) na +9,6 m , kde se nachází místnosti blokové a nouzové dozorny, místnosti ochran bloku tzv. PPRI,II,III, místnosti relé ochran atd.) a prostor pohonů (paluba) HCČ. Zařízení se skládá z řídících ústředen (detekce, spuštění, vypnutí vzduchotechniky) a halonových baterií. Množství hasicí látky je určeno na základě výpočtu dle objemu hašené místnosti. Halonové SHZ patří mezi nejúčinnější hasební zařízení instalované v prostorách JE Dukovany.

Systém elektronické požární signalizace (EPS) zajišťuje adresnou detekci (informaci o místě požáru) a ohlášení vzniklého požáru (poplachové zařízení). Informace o vzniku požáru je svedena na blokové dozorny obou HVB a rovněž na ohlašovnu požárů-dispečink hasičského záchranného sboru podniku (HZSp) EDU. Kombinace EPS se systémy SSZ a SHZ tvoří rychlou a účinnou kombinaci směřující k potlačení požáru v jeho zárodku.

V místnostech pohonů HCČ byl jako doplněk EPS a SHZ nainstalován kamerový systém, který sleduje on-line stav v místnosti. Výstup kamer je vyveden na blokovou dozornu (BD) a dispečink HZSp JE Dukovany.

Zařízení pro odvod tepla a kouře (klapky COLT na střeše strojovny) je provedeno v souladu s projektem. Je plně funkční a splňuje požadavky bezpečného provozu.

Hasicí přístroje - instalované množství i druhová skladba hasicích přístrojů odpovídá prostředí, ve kterém jsou instalovány.

Závěr

Požární riziko provozu bloků EDU lze označit za relativně malé. Na malou hodnotu požárního rizika mají vliv především následující skutečnosti:

1. Vysoká úroveň dispozičního rozdělení vzájemně se zálohujících systémů, včetně systémů odpovídajících kabelových tras.
2. Celoplošné protipožární nástřiky původních PVC kabelů, nově jsou používané ohni odolné a oheň nešířící kabely.
3. Požární zóny jsou vybaveny systémy detekce a automatického hašení požárů.
4. Požární odolnost protipožárních bariér se pohybuje v rozmezí 90 až 240 minut. Přičemž požární zatížení místností a požárních úseků nedosahuje dle analýz takových hodnot, aby doba požáru překročila 45 minut (maximální doba požáru dle analýz, počítáno pro 152 místností).
5. Zařízení na BD je projektováno s minimálním potenciálem ke vzniku falešných signálů v důsledku požární události. Je použito systému bezpečnostních klíčů, kdy falešný signál při vystavení kabelu účinkům požáru je možný pouze v okamžiku ovládání komponenty obsluhou bloku, kdy obsluha nastaví bezpečnostní klíč do polohy „práce“.
6. Bloky EDU jsou vybaveny nouzovou dozornou (ND) požárně oddělenou od blokové dozorny (BD), která umožňuje zajistit kontrolu bloku a uvedení do bezpečného a odstaveného bloku a vykonání nejdůležitějších manipulací a zásahů v případě nedostupnosti (neobyvatelnosti) blokové dozorny.
7. Bloky EDU jsou vybaveny plně nezávislými systémy doplňování PG (ENČ, HNČ, SHNČ).

Závěrem lze konstatovat, že JE Dukovany svým protipožárním zabezpečením odpovídá národní legislativě i mezinárodním doporučením IAEA. Stav protipožárního zabezpečení jaderné elektrárny Dukovany je na velmi dobré úrovni.

Na EDU je zřízena profesionální jednotka hasičského záchranného sboru podniku (HZSp), která je dislokována v požární stanici situované v areálu jaderné elektrárny, ve vzdálenosti cca 100 metrů od HVB. Jednotka HZSp zajišťuje úkoly jak na úseku prevence, tak na úseku represe.

3.12.2 Posouzení rizika ztráty koncového jímače tepla

Koncový jímač tepla (KJT) uvolňovaného z paliva bloků EDU v reaktoru a v bazénu skladování vyhořelého paliva (BSVP) tvoří okolní atmosféra. Zbytkové teplo je do koncového jímače tepla (atmosféry) možno odvádět některým z následujících způsobů:

- Přes sekundární okruh pomocí systému kondenzace turbínové páry a cirkulační chladící vody – nepatří mezi bezpečnostní systémy a proto není tento způsob dále rozebírán.
- Prostřednictvím systému dochlazování s předáváním tepla do technické vody důležité (TVD) – při normálním i abnormálním provozu a při havarijních podmínkách, umožňuje převést reaktor do studeného stavu (cca 50 °C v AZ i v BSVP).

- Přímým odvodem páry do atmosféry z parogenerátorů (PG) – při abnormálním nebo havarijním provozu, neumožňuje převést reaktor do studeného stavu (dochlazení max. na cca 110 °C).
    - Projektovým způsobem doplňování PG napájecí vodou (HNČ nebo SHNČ).
    - Alternativním způsobem doplňování PG pomocí mobilní techniky HZSp z vnějších zdrojů.
- Prostřednictvím systémů havarijního chlazení aktivní zóny (SAOZ) při události LOCA. Teplo z aktivní zóny (AZ) je v tomto režimu rozptylováno přímo do kontejnmentu, odkud je přes systémy SAOZ (čerpadla TH, TQ a chladič TQ) odváděno systémem TVD do atmosféry.

Teplo z bazénů skladu vyhořelého paliva je do koncového jímače tepla (atmosféry) možno odvádět některým z následujících způsobů:

- Prostřednictvím systému chlazení bazénu skladování vyhořelého paliva (systém TG) s předáváním tepla do technické vody důležité (TVD).
- V případě ztráty systému TVD lze odvod tepla z BSVP zajistit alternativním způsobem, kdy je nejprve teplo z BSVP akumulováno v nádržích systému SAOZ a po dosažení teploty varu v BSVP je doplňováno odpařené množství chladiva BSVP z vnitřních zdrojů bloku (nádrže SAOZ, barbotážní žlaby) nebo pomocí mobilní techniky HZSp z vnějších zdrojů.

Ztráta koncového jímače tepla nemůže ohrozit odstavení reaktoru ať již automaticky nebo ručně tlačítkem. Vytvoření odstavné koncentrace může být zabezpečeno činností čerpadel havarijního doplňování bóru, které nepotřebují k provozu TVD. Koncový jímač tepla (atmosféru) principiálně nelze ztratit, proto hodnocení ztráty koncového jímače tepla chápeme jako hodnocení ztráty schopnosti přenosu tepla z reaktoru nebo BSVP do atmosféry (resp. ztrátu systémů toto zajišťujících).

Ke ztrátě nebo omezení schopnosti přenosu tepla do atmosféry může principiálně dojít při ztrátě elektrického napájení nebo při ztrátě vody pro doplňování okruhu TVD nebo pro doplňování PG. Stav elektrického napájení EDU ovlivňuje i dostupnost zásob vody pro doplňování vodních okruhů. Hodnocení rizika ztráty koncového jímače tepla je proto provedeno pro následující hlavní stavy elektrického schématu JE:

1. Riziko ztráty KJT při normálním elektrickém napájení vlastní spotřeby
2. Riziko ztráty KJT v podmínkách ztráty pracovních zdrojů elektrického napájení
3. Riziko ztráty KJT v podmínkách Station Blackout (SBO)

Mezi základní analyzovanou iniciační událost patří výpadek ČS Jihlava. Tato událost byla analyzována jak v podmínkách normálního elektrického napájení, tak v podmínkách ztráty pracovních zdrojů elektrického napájení. Ztráta pracovních zdrojů elektrického napájení byla analyzována přímo jako iniciační událost i jako důsledek působení přírodních vlivů – extrémní vítr, extrémní teplota příp. seismická událost. Iniciační událost ztráta TVD v kombinaci se ztrátou pracovních zdrojů elektrického napájení je vzhledem k okamžitému vypnutí všech DG, z důvodu nezajištění jejich chlazení, ekvivalentní události SBO.

<u>Ztráta doplňování surové vody do EDU</u>

Mezi možné iniciační události vedoucí ke ztrátě KJT patří výpadek ČSJ. Operativní personál situaci řeší podle příslušného postupu (P002i, kapitola 7.1. Výpadek ČS Jihlava). V podmínkách normálního elektrického napájení personál EDU snižuje výkon a odstavuje reaktorové bloky. Pokud je výpadek ČSJ způsoben ztrátou elektrického napájení vlastní spotřeby, dochází k odstavení všech bloků automaticky. V prvním případě je ve vodních systémech EDU zásoba vody pro odvod zbytkového tepla (provoz čerpadel TVD) na cca 77 dnů (pozvolnější odstavování bloků – pomalejší snižování odparu z cirkulační chladící vody (CCHV) v chladicích věžích), v druhém případě dochází k poklesu hladiny vody v jímkách TVD pod úroveň automatického odstavení čerpadel TVD kolem cca 150 dnů v důsledku rychlého odstavení bloků na začátku události a tím vyvolaného okamžitého snížení odparu z CCHV, což ve svých důsledcích znamená delší dobu do úplné ztráty zdrojů TVD v EDU1-4. Funkce přenosu tepla do koncového jímače tepla tedy není bezprostředně ohrožena.

Působení extrémních přírodních vlivů

Mezi přírodní jevy, schopné ovlivnit přenos tepla z reaktoru nebo BSVP do atmosféry, patří extrémní teplota a extrémní vítr. Odvod tepla z okruhů TVD při mimořádných situacích zajišťují ventilátorové chladící věže (VCHV). TVD je na rozliv VCHV přiváděna automaticky po překročení teploty TVD na vstupu na spotřebiče > 30°C (bezpečnostní funkce). VCHV dokáží udržet teplotu TVD pod teplotou 33°C uvažovanou v bezpečnostních rozborech i v případě 10 000 - letého teplotního extrému 46°C při relativní vlhkosti 24%. Funkce odvodu tepla ze spotřebičů TVD není ohrožena.

V případě extrémního větru s dobou návratu 10 000 let a větší může dojít k vážnému poškození chladících věží Itterson a omezení možnosti využití objemu v bazénech CCHV. VCHV jsou naproti tomu kvalifikované i na účinky extrémního větru a tornáda. Nejkratší doba pro výpadek čerpadel TVD z důvodu ztráty vody je v tomto přibližně 32 dnů. Lze tedy konstatovat, že ani v případě působení extrémních přírodních vlivů není funkce přenosu tepla do koncového jímače tepla z důvodů vyčerpání zásob vody v lokalitě bezprostředně ohrožena. Vypočtená doba je dostatečně dlouhá pro provedení opatření, např. částečné zprovoznění ČSJ.

Analýza spotřeby demivody

Ve všech analyzovaných případech limitní zásoba demivody 1800 m^3/HVB dostačovala pro bezpečné odstavení a vychlazení bloků a zaplnění PG a parovodů pro přechod na vodovodní dochlazování. Zásoba demivody byla dostačující dokonce i v případě, kdy byla zvolena nejpomalejší varianta vychlazování bloků s postupem operativního personálu dle příslušného provozního předpisu ES-0.2 (trend vychlazování 10°C s prodlevou 10 hodin na teplotě 205°C).

Ztráta systému TVD

Systém TVD je z pohledu zajištění bezpečnosti a přenosu zbytkového tepla, ať již z paliva v AZ nebo z paliva v BSVP, do koncového jímače tepla klíčový. Vzhledem k redundanci systémů TVD 3x100 % a další vnitřní redundanci 2x100 % každé divize TVD (4 čerpadla), je ztráta schopnosti přenosu tepla od zdrojů podmíněna neprovozuschopností všech čerpadel TVD (celkem 12 čerpadel). Vzhledem k prostorové separaci systémů a čerpadel, nezávislosti elektrického napájení a dalších podpůrných systémů je současná neprovozuschopnost všech čerpadel TVD extrémně nepravděpodobná. I při provozu pouze jednoho čerpadla v jedné divizi systému TVD lze zajistit plnění základních bezpečnostních funkcí. Jedinou možnou příčinou ztráty všech čerpadel TVD by mohl být SBO popř. nevratný únik TVD, který nelze kompenzovat přepnutím na jinou divizi systému.

Alternativní jímač tepla

Úplná ztráta TVD (dokonce ani SBO) neznamená okamžitý problém vzhledem k možnosti dlouhodobého odvodu zbytkového tepla do atmosféry přes PG po odstavení bloků. Tuto strategii je možno použít při utěsněném reaktoru a je možné tímto způsobem dochladit blok až na teplotu cca 110°C. Vzhledem k množství kombinací k zajištění tohoto režimu, diverzních z pohledu řešení i redundantních z pohledu konfigurací systémů, není pro zajištění bezpečnostní funkce odvod tepla při uzavřeném reaktoru identifikováno přímé ohrožení. Pro odvod tepla při uzavřeném reaktoru lze alternativně použít odvod tepla tzv. sekundárním Feed&Bleed, kdy napájení PG je dlouhodobě zajištěno prostředky HZSp a odvod páry přes přepouštěcí stanici do atmosféry PSA v provedení 2 x 100% na jeden blok EDU.

Při otevřeném reaktoru je odvod tepla z AZ závislý na provozu TVD (chlazení v režimu přirozené cirkulace, odvod tepla na výměníku systému dochlazování ve vodovodním režimu na sekundárním okruhu). V tomto případě lze zahájit zaplňování bazénů výměny paliva (BVP) havarijními systémy doplňování I.O. vodou ze systémů SAOZ (celkem k dispozici až 1240 m^3 roztoku kyseliny borité - dle stavu technologie při výměně paliva) a tím oddálit nárůst teploty. Odvod tepla z AZ lze v tomto režimu udržovat po dobu delší než 72 h. Pokud nedojde k obnově odvodu tepla přes TVD, lze použít další velmi účinnou strategií a to udržování hladiny v otevřeném reaktoru

gravitačním plněním chladivem ze žlabů barbotážní věže. Zásoba chladiva na doplňování vyvařeného chladiva je cca 12 dní. Další dlouhodobé udržování hladiny v otevřeném reaktoru a BSVP lze zajistit pomocí mobilní techniky HZSp, kdy voda pro doplňování otevřeného reaktoru a BSVP je vedena hadicovým vedením na postament reaktoru.

Další informace k efektivitě a podmínkám použitelnosti jednotlivých alternativních možností odvodu tepla z AZ a BSVP jsou uvedeny v kapitole 6.9 Systém havarijního odvodu tepla z primárního okruhu této zprávy.

3.12.3 Obecné posouzení odolnosti budov vůči tlakovým vlnám

Podle projektového řešení bezpečnostně významných budov EDU a v souladu s požadavky bezpečnostního návodu IAEA NS-G-3.1 External human induced events in site evaluation for nuclear power plants (2002) čl. 7.7 lze za bezpečný přetlak na čele tlakové vlny považovat mezní přetlak 7 kPa. Tento přetlak u naprosté většiny budov nezpůsobí ani jejich slabé rozrušení. Vzdálenost, ve které maximální kladný přímý přetlak při explozi činí 7kPa, lze ocenit podle vzorce $R = 18\ W^{1/3}$, kde R je vzdálenost od explodující nálože (m) a W je TNT ekvivalent hmotnosti explodujícího materiálu (kg).

V kap. 2.2 a 2.3 byly hodnoceny možné zdroje explozí vně i uvnitř areálu EDU. Úrovně přetlaků způsobených jednotlivými explozemi se podle potřeby lineárně interpolovaly mezi vypočtenými dosahy a porovnaly se se skutečnými odolnostmi budov EDU1-4. Kritérium pro zanedbání účinků exploze byl konzervativně přetlak rázové vlny na položkách důležitých pro bezpečnost menší než 3 kPa.

Nejvážnějšími zdroji exploze by byl výbuch skladovaného vodíku v objektu 644/1-01, velký požár rozlité kapaliny při doplňování a výměně paliva pro DG v objektu 531/-01 a dále pak možný výbuch benzínu při jeho přečerpávání v objektu 703/1-02.

Výsledky analýzy v podkladech pro kapitolu 2.3 ukazují, že tyto události nemohou vést k ohrožení budov, v nichž jsou umístěna zařízení důležitá pro bezpečnost. Při nehodách na stacionárních zařízeních přetlak na čele vlny nepřekročí na hranici budov důležitých pro bezpečnost přetlak 3kPa. Tomuto zatížení všechny budovy odolávají bez rozrušení. Při nehodách na dopravních trasách na místo určení v areálu EDU sice může dojít i k větším tlakovým rázům na budovách, nicméně tyto se budou pohybovat v oblasti slabého rozrušení a navíc četnost takové události je vždy prokázána za zanedbatelnou (menší než 10^{-07}/rok).

3.12.4 Posouzení odolnosti vůči poruchám pomocných systémů

Exploze v systému spalování vodíku (je to tu osamocené jako kůl v plotě navrhuji přesunout do 15.9 a kapitolu 3.12.4 zrušit)

Podmínkou vzniku výbušné směsi je dosažení koncentrace vodíku na dolní mezi výbušnosti tj. 4 obj. % a stechiometrický obsah kyslíku ve směsi. Mezi nejpravděpodobnější příčiny zvýšení koncentrace vodíku v systému spalování vodíku patří nedostatečná funkce kontaktního aparátu. Ta by mohla být způsobena otravou (znečištěním) katalyzátoru (např. olejem, vodou, pevnými částicemi). K nárůstu koncentrace vodíku by v důsledku zvýšení výstupního tlaku a zhoršení účinnosti spalování vedl i současný provoz obou dmychadel, což je vzhledem k nastavení ochran a blokád méně pravděpodobné.

Iniciační událostí vzniku exploze by mohl být výboj statické i silové elektřiny, adiabatická komprese (samovznícení) či mechanická příčina způsobená provozem dmychadla (urychlení pevných částic, kolize pohyblivých částí). I když je výsledná pravděpodobnost exploze vodíku v systému spalování nízká (pohybuje v řádu 10^{-6} až 10^{-7}/rok), byla provedena analýza základních charakteristik exploze vodíku v systému spalování vodíku. Jediným kritériem přijatelnosti pro hodnocení události bylo zachování integrity systému.

Výpočtová analýza ukázala, že hodnota maximálního explozního tlaku 0,94 MPa nepřesahuje úroveň výpočtového tlaku aparátů systému spalování vodíku a že strojní zařízení systému spalování vodíku je schopno absorbovat energii dynamické části exploze bez porušení integrity hranic systému. Teplotní účinek explozního procesu není nutno podrobně studovat, neboť v krátkém čase explozního jevu nemá mezní velikost teploty na materiálovou stabilitu zařízení vliv. Lze konstatovat, že systém spalování vodíku je vůči poruchám v systému odolný.

Další události této skupiny jako je Prasknutí potrubí pomocných systémů nebo Poruchy v bazénu skladování paliva jsou řešeny v kapitole 15.9 Speciální rozbory této zprávy.

4 Reaktor

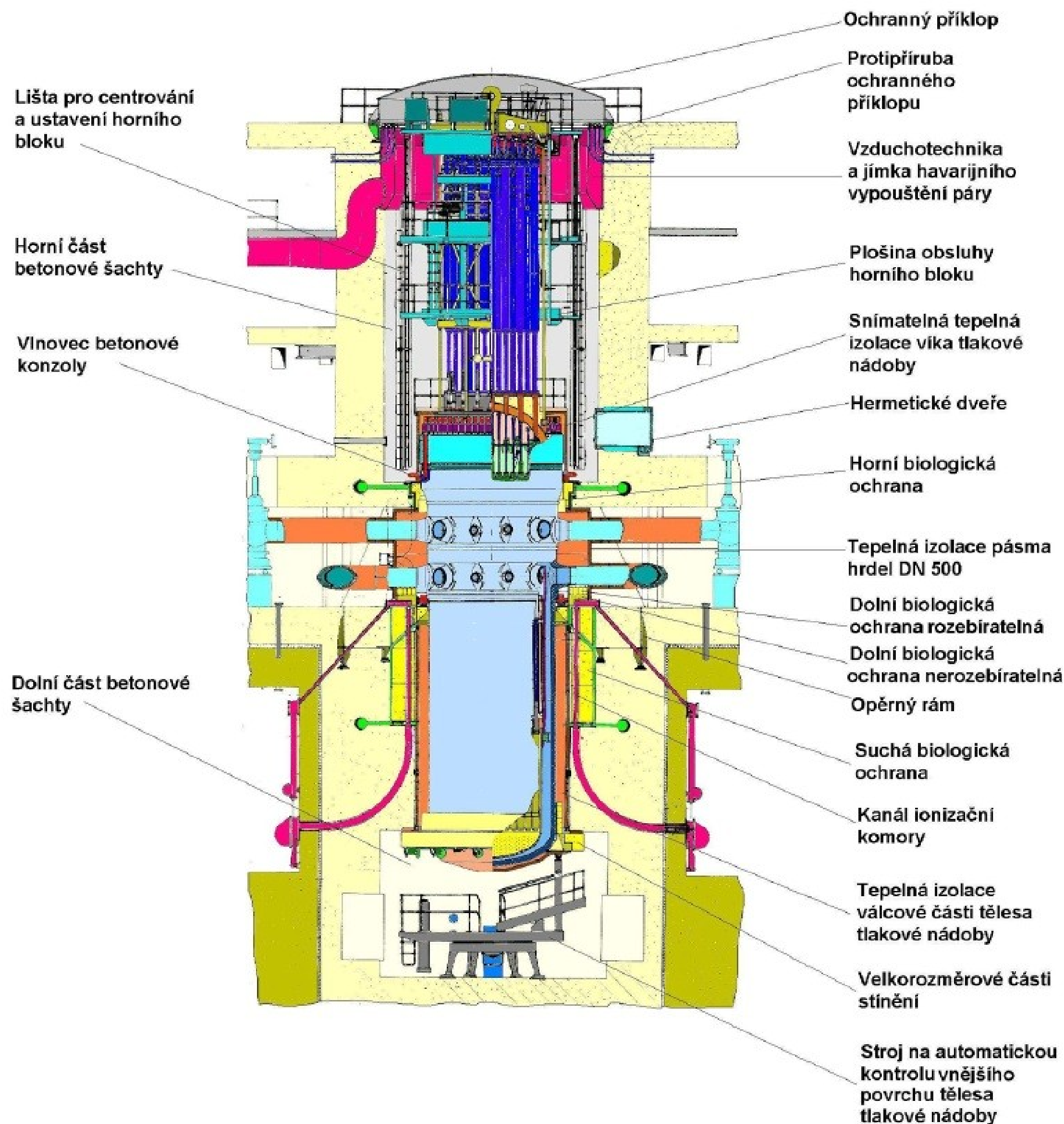
Reaktorové zařízení představuje komplex systémů a prvků jaderné elektrárny, určených k transformaci jaderné energie na energii tepelnou, které zahrnují reaktor a bezprostředně s ním spojené systémy, nutné pro jeho normální provoz, havarijní chlazení, havarijní ochranu a udržování v bezpečném stavu, za podmínky plnění potřebných pomocných a zajišťujících funkcí jinými systémy elektrárny.

Zdrojem tepelné energie v jaderné elektrárně je reaktor a je určen pro ohřev chladiva energií uvolněnou při štěpné reakci jaderného paliva v aktivní zóně reaktoru. Další komponenty reaktorového zařízení zabezpečují řízení a ochranu reaktoru při procesu předávání tepelné energie chladivu primárního okruhu v aktivní zóně reaktoru a při jeho dalším transportu prostřednictvím primárního okruhu, parogenerátorů a parou sekundárního okruhu dál k turbíně.

Reaktor VVER-440 (typ V-213) je tlakovodní, heterogenní, pracující na tepelných neutronech, moderátorem a chladivem je demineralizovaná voda s obsahem H_3BO_3, která slouží jako tekutý absorbátor neutronů. Koncentrace H_3BO_3 se snižuje v závislosti na vyhoření paliva. Jako jaderné palivo se používá slabě obohacený oxid uranu.

Reaktor VVER 440 je umístěn v betonové šachtě reaktoru[9] a zahrnuje zařízení, popsaná na Obr. 40..

[9] Betonová šachta reaktoru, která představuje součást vnitřní vestavby kontejnmentu, ve které je umístěn reaktor a tedy patří do stavební části, se někdy zkráceně nazývá pouze šachta reaktoru. Tento termín nelze zaměňovat se šachtou reaktoru jako vnitroreaktorovou ocelovou části, ve které je umístěn koš aktivní zóny, a která je popsána dále v textu této kapitoly.



Obr. 40. Umístění reaktoru v betonové šachtě reaktoru

K zařízením betonové šachty reaktoru patří mimo jiné:

- Ochranný příklop (tzv. kolpak) – hermeticky odděluje hermetické prostory kontejnmentu od reaktorového sálu.
- Plošina obsluhy horního bloku – k seřizování horního bloku, jsou k ní upevněny kabely k pohonům a kabely od měření. Před každou výměnou paliva se plošina snímá.
- Potrubí šachty reaktoru – přívod a odvod vody od chlazení pohonů havarijních, regulačních a kompenzačních kazet (HRK); odvzdušnění chlazení; je rozebíratelné (každou výměnu paliva).
- Vlnovec betonové konzoly – pružně spojuje přírubu tlakové nádoby reaktoru (TNR) s betonovou konzolou; rozděluje šachtu TNR (hloubka 29 m) na horní (11 m, zaplavena při výměně paliva) a spodní část.
- Horní a spodní biologická ochrana – snižují úroveň ionizujícího záření tam, kde pracují lidé; horní se nachází mezi betonovou konzolou a přírubou TNR a je opatřena skelnou izolací; mezi horní biologickou ochranou a betonovou konzolu je přiváděn chladící vzduch; spodní nese opěrný rám; spodní má rozebíratelnou a nerozebíratelnou část.

- Tepelná izolace válcové části reaktoru – snižuje tepelné ztráty reaktoru.
- Kanály ionizačních komor měření a řízení – umožňují umístění měřící a řídící instrumentace v bezprostředním okolí reaktoru.

Základní parametry reaktoru VVER 440 typ V-213 jsou následující:

- Hlavní rozměry:
  - maximální průměr (přes hrdla) 4,71 m
  - výška 23,63 m
  - tloušťka stěny tlakové nádoby 140 ÷ 205 mm
- Tlaková ztráta na reaktoru 0,265 MPa
- Průměr aktivní zóny 2,88 m
- Výška aktivní zóny 2,5 m
- Hmotnost palivové vsázky 42 t
- Nominální tepelný výkon reaktoru při normálním provozu (6 hlavních cirkulačních čerpadel (HCČ) v provozu) 1444 MW
- Průtok chladiva reaktorem (6 HCČ v provozu) – minimální a maximální projektové hodnoty 40000 m^3/h - 43500 m^3/h
- Nominální přetlak chladiva na výstupu z reaktoru 12,26 MPa
- Max. tlak při pevnostní zkoušce 16,34 MPa
- Střední teplota chladiva na vstupu do aktivní zóny 265 ÷ 270 °C
- Střední teplota chladiva na výstupu z aktivní zóny 293 ÷ 302 °C

4.1 Souhrnný popis

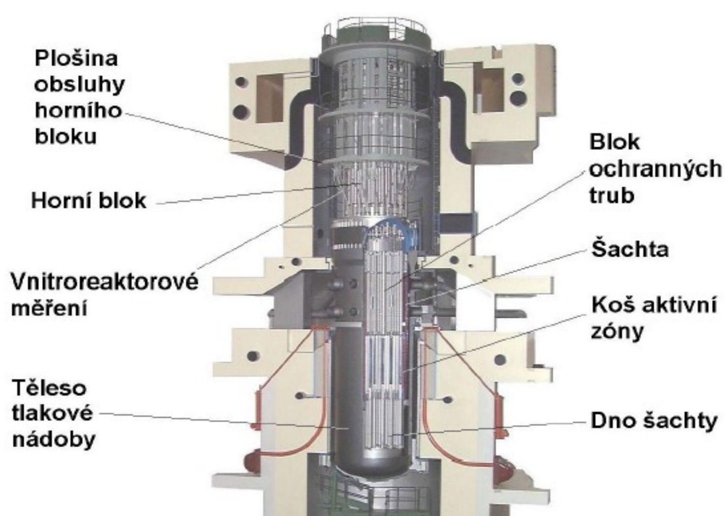
Reaktor VVER 440 typ V-213 je tvořen základními konstrukčními částmi, jak ukazuje Obr. 41. a Obr. 42.. K hlavním částem reaktoru VVER-440 typ V-213 patří: těleso tlakové nádoby reaktoru, horní blok, šachta reaktoru, dno šachty reaktoru, koš aktivní zóny, blok ochranných trub, pohon havarijních, regulačních a kompenzačních kazet (HRK), vložená tyč, čidla měření teplot a neutronového toku, aktivní zóna reaktoru.

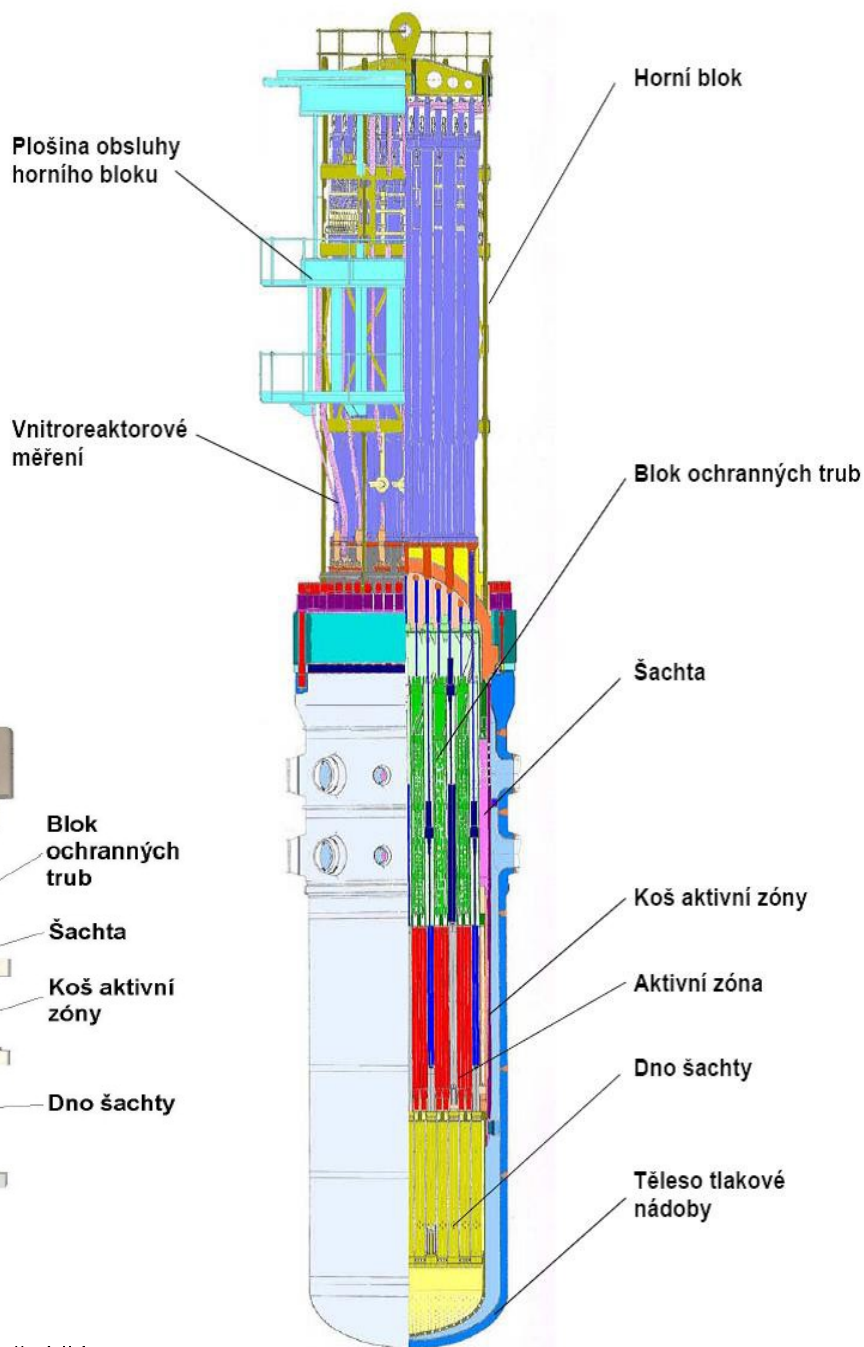
Reaktor je proti překročení tlaku zajištěn společně s celým primárním okruhem systémem pojistných ventilů, které jsou součástí systému kompenzace objemu. K ochraně reaktoru před nepřípustnými odchylkami základních parametrů slouží systém havarijní ochrany (HO) reaktoru někdy též nazývané jako systém rychlého odstavení reaktoru nebo v anglické verzi tohoto pojmu reactor trip system (RTS). Havarijní ochrana reaktoru účinkuje v případě, když není automatickou regulací zabezpečen normální provoz. K ochranným zařízením dále patří systémy havarijního chlazení aktivní zóny, které jsou určeny k zamezení roztavení aktivní zóny reaktoru při ztrátě chladiva a zajišťují její zalití studenou vodou v počáteční fázi nehody a spolehlivý odvod zbytkového tepla v dalším průběhu nehody.

Tlaková nádoba reaktoru (TNR)
- Těleso TNR
- Víko TNR

Horní blok
- Víko TNR
- Pouzdra s pohony regulačních kazet
- Silové přívody k pohonům
- Chlazení pohonů regulačních kazet
- Odvzdušnění reaktoru, havarijní odvod paroplynové směsi
- Nosná konstrukce

Vnitřní vestavby
- Šachta
- Dno šachty
- Koš aktivní zóny (AZ)





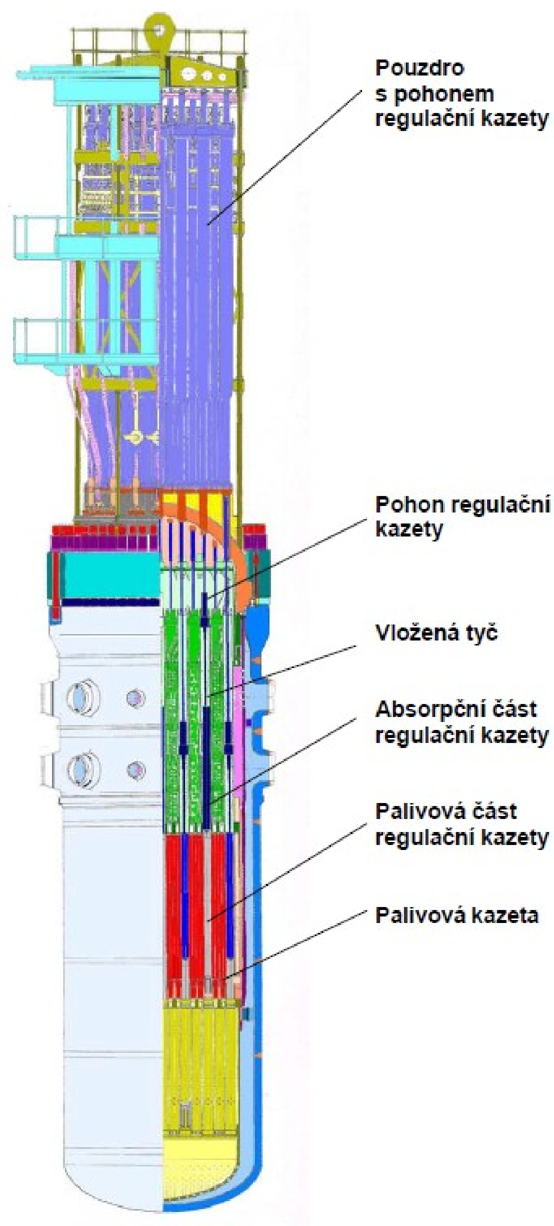
Aktivní zóna (AZ)
- Palivové kazety
- Regulační kazety (palivová a absorpční část)

Vnitroreaktorové měření
- Měření neutronového toku (IN-CORE)
- Měření teploty chladiva na výstupu z AZ

Obr. 41. Základní konstrukční části reaktoru VVER 440 (celkové uspořádání)

Pohon havarijní, regulační a kompenzační kazety (HRK)

- Vložená tyč



Obr. 42. Základní konstrukční části reaktoru VVER 440 (mechanická regulace)

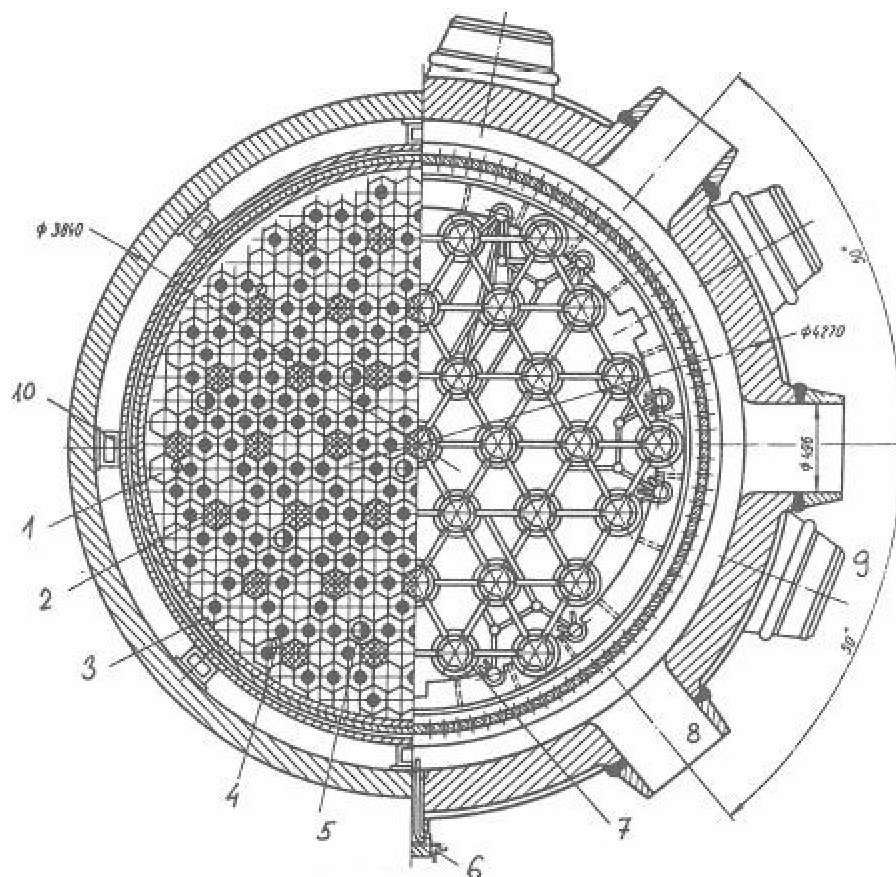
4.1.1 Popis aktivní zóny reaktoru

Aktivní zóna (AZ) reaktoru je tvořena palivovým systémem a odpovídající částí chladiva/moderátoru. Moderátorem i chladivem je lehká voda při nominálním provozním přetlaku 12,26 MPa na výstupu z reaktoru. Palivový systém je vymezen a nesen vnitřními částmi reaktoru, které současně usměrňují průtok chladiva kolem palivových proutků.

Umístění aktivní zóny

Spolu s vnitroreaktorovými částmi je AZ instalována v tělese tlakové nádoby reaktoru (viz Obr. 43.). Je složena z 312 palivových kazet a 37 havarijních, regulačních a kompenzačních kazet (HRK). Reaktor je ustaven v betonové šachtě, jejíž zařízení

zajišťuje biologickou ochranu proti záření AZ, spolehlivé upevnění reaktoru a tepelnou izolaci jeho vnějšího povrchu.



1 – palivová kazeta

2 – regulační kazeta

3 – kanál měření teplot

4 – kanál měření průtoku

5 – kanál měření neutronového toku

6 – měření tlakové ztráty v aktivní zóně

7 – blok ochranných trub

8 – vstupní hrdla chladiva reaktoru

9 – výstupní hrdla chladiva reaktoru

10 – konzoly k vedení koše aktivní zóny

Obr. 43. Řez aktivní zónou reaktoru VVER 440

Konstrukce jednotlivých zařízení souvisejících s AZ

Těleso tlakové nádoby

Těleso tlakové nádoby reaktoru (TNR) je vyrobeno ze speciální legované uhlíkové oceli s malou náchylností k radiačnímu poškození. Po celém vnitřním povrchu a na čele hlavní dělicí roviny je nerezový návar. Konstrukčně je těleso TNR svařeno z kovaných kroužků a eliptického dna.

Pod přírubovým kroužkem je horní prstenec se 6 nátrubky DN 500 mm, sloužícími pro výstup chladiva z AZ a 2 nátrubky DN 250 mm pasivního systému havarijního chlazení se vstupem nad AZ. Pod tímto prstencem je prstenec se 6 nátrubky DN 500 mm, sloužícími pro vstup chladiva a 2 nátrubky pasivního systému havarijního chlazení DN 250 mm se vstupem pod AZ.

Na vnitřní straně přírubového prstence je osazení, sloužící k zavěšení šachty reaktoru. Hmotnost tělesa je 215 150 kg.

Horní blok

Je určen k uzavření tělesa TNR, k rozmístění pohonů HRK, vývodů systému tepelné kontroly (TK) a vývodů měření neutronového toku. Při pracujícím reaktoru jsou jednotlivé uzly horního bloku zaplněny vodou primárního okruhu.

Šachta reaktoru

Slouží pro uložení a zajištění polohy dna šachty, koše AZ a bloku ochranných trub, usměrňuje tok chladiva reaktorem a chrání TNR před gama zářením a neutronovým tokem. Konstrukčně je šachta reaktoru dutý válec, zavěšený uvnitř tlakové nádoby reaktoru. Výška šachty je 8122 mm, průměr 3366 mm a tloušťka stěny v místě AZ 60 mm. Šachta sedí svojí přírubou na osazení příruby nádoby. Hmotnost činí 37 680 kg.

Dno šachty

Představuje opěrný nosník, na kterém leží AZ. Dno sedí na osazení šachty. Sestává z horní mříže tloušťky 150 mm a dolní distanční mříže tloušťky 50 mm, které jsou propojeny 37 ochrannými trubkami a pláštěm. V ochranných trubkách jsou brzdící trubky HRK. Zespodu je přivařeno perforované dno, které zrovnoměrňuje průtok chladiva do AZ. Brzdicí trubka zmenšuje nárazový koeficient při pádu HRK. Horní mříž má 312 otvorů, do kterých jsou zasazeny škrticí clony o průměru 50 mm, představující doplňkové clony palivových kazet, a 37 otvorů, do jejichž osazení jsou opřeny brzdicí trubky svými čely. 3 záchyty pro transport, 3 naváděcí trny centrují koš vzhledem ke dnu. Hmotnost dna je 30 075 kg.

Koš AZ

Koš AZ je osazen do šachty reaktoru; slouží k uložení a rozmístění palivových kazet. Skládá se ze dna, pláště a hraněných plechů. Dno koše je deska o tloušťce 300 mm. V ní je 312 otvorů o průměru 125 mm pro usazení palivových kazet a 37 šestihranných otvorů pro průchod regulačních kazet. V nich jsou vytvořeny labyrinty pro zmenšení průtoku mezi dnem a palivovými kazetami. V horní hraně desky dna koše AZ jsou drážky pro zajišťovací kolíky palivových kazet. Tyto zabraňují pootočení palivové kazety. Hmotnost koše je 21 300 kg.

Blok ochranných trub

Blok ochranných trub (BOT) slouží jako opěrná konstrukce proti zvednutí koše AZ s palivovými kazetami a dna šachty vlivem proudění chladiva. Dále slouží k zajištění roztečí palivových kazet, jako ochrana HRK, vložených tyčí a pro rozmístění a uložení kanálů pro čidla měření teploty a neutronového toku. Konstrukčně se BOT skládá ze spodní a horní desky, mezi kterými je 37 ochranných trub. Na horní desce je navařen plášť, na kterém jsou uchyceny pružinové bloky a 18 vývodů pro měření teplot a neutronového toku. Hmotnost bloku je 35 200 kg.

Pohon HRK

Je výkonným mechanismem, který zajišťuje pohyb palivové a absorpční části regulační kazety. Skládá se z následujících základních částí: čidlo ukazatele polohy, elektromotor, vřetenové zařízení, reduktor, hřebenový uzel, chladící had, hydraulická zarážka. Princip činnosti pohonu spočívá v přeměně rotačního pohybu rotoru elektromotoru v posuvný pohyb hřebenové tyče, se kterou je přes vloženou tyč spojena HRK.

Vložená tyč

Slouží jako spojovací článek mezi pohonem HRK a vlastní HRK. Vložená tyč je šroubovaná a svařovaná konstrukce. Délka vložené tyče je 4 824 mm, maximální průměr 155 mm. Hmotnost vložené tyče je 60,8 kg.

Palivové kazety

Palivové (pracovní) kazety jsou tvořeny 126 palivovými proutky o vnějším průměru 9,1 mm. Pokrytí palivového proutku je zirkonium s 1% niobu. Palivové proutky jsou rozmístěny v trojúhelníkové mříži s roztečí 12,3 (resp. 12,2) mm. Palivem je spékaný oxid uraničitý s integrovaným vyhořívajícím absorbátorem Gd_2O_3 (v příslušných proutcích příslušných kazet). Mřížka je voštinového tvaru. Spodní část kazety je tvořena válcovým zakončením sloužícím pro usazení do dna koše AZ reaktoru. Horní část je tvořena hlavicí, která slouží k manipulaci s kazetou. Obalová trubka kazety je šestihranná s rozměrem pod klíč 145 mm a je vyrobena ze zirkonia s 2,5% niobu. Obohacení použitých pracovních kazet a palivových částí HRK je uvedeno v kap. 4.2.

Havarijní, regulační a kompenzační kazety (HRK)

HRK se skládá z palivové částí a absorpčního nástavce. Regulační kazeta má stejný vnější profil jako palivová kazeta, tj. šestihran s rozměrem pod klíč 145 mm. Absorpční nástavec tvoří 22 vložek z bórové oceli sestavených do šestihranného profilu. Vložkami prochází trubka, která usměrňuje tok chladiva v absorpční kazetě. Horní část absorpční kazety je tvořena hlavicí přecházející v naváděcí kužel s otvory pro průchod chladiva. Dolní palivová část HRK je konstrukčně téměř shodná s palivovou kazetou. Pro zlepšení bilance tepelných neutronů v okolních pracovních kazetách je vnitřní povrch horní palivové části HRK opatřen šesti destičkami s obsahem Hf o tloušťce 0,6 mm - po jedné destičce na hranu.

Účel AZ a význam pro bezpečnost

Účelem AZ je zabezpečit generaci tepla v jaderném palivu a předat jej z povrchu tepelných elementů (proutků) chladivu. Palivová kazeta je jednou z technicky nejvýznamnějších částí reaktoru, neboť její vlastnosti určují a limitují technické a ekonomické vlastnosti celé jaderné elektrárny (JE). Její fyzikální vlastnosti mají přímý vliv na základní parametry JE, jako jsou její účinnost, palivový cyklus, provozní spolehlivost, bezpečnost a ekonomie provozu. Palivová kazeta je nejexponovanější částí reaktoru. Pracuje v mimořádně těžkých podmínkách, kde působí pole ionizujícího záření, vysoké tepelné toky, teplotní napětí, chemické působení okolí, dynamické namáhání, aj.

Vlastnosti palivové kazety mají zásadní význam pro bezpečnost JE. Manipulace s kazetou vyžaduje pečlivost, přesnost a šetrné zacházení, aby nedošlo k porušení pokrytí palivového proutku ať již v podobě trhlin nebo jiných netěsností. Palivo musí být chráněno před znečištěním a chemickým narušením pokrytí palivových proutků a tím i možností kontaminace primárního okruhu.

HRK plní funkci provozní regulace výkonu, kompenzace reaktivity a havarijní ochrany. HRK ve své funkci havarijní ochrany zajišťují jadernou bezpečnost. V tomto případě se požaduje, aby při všech polohách HRK v AZ byla jejich efektivnost vždy dostatečně velká, tj. taková, aby došlo v případě jejich pádu do AZ k bezpečnému zastavení jaderné řetězové štěpné reakce.

Řízení a kontrola AZ

Systém řízení a ochran reaktoru je určen k ovlivňování průběhu řetězové reakce v reaktoru s cílem řízení výkonu reaktoru nebo havarijní ochrany. Systém lze rozdělit na:

a) mechanické orgány HRK
b) systém bórové regulace

Mechanické orgány systému řízení a ochrany zabezpečují jako typické tyto režimy:

- spouštění reaktoru a vyvedení na výkon 3 - 5% nominální hodnoty,
- automatické (nebo ruční) udržování výkonu od 3 - 5% do 102% nominální hodnoty,
- kompenzaci rychlých změn reaktivity (výkonový efekt a část teplotního efektu, atd.),

- havarijní ochranu.

Systém bórové regulace se typicky používá pro:

- kompenzaci pomalých změn reaktivity,
- regulaci polohy HRK,
- řešení konečného podkritického stavu normálního a abnormálního provozu a havarijních podmínek.

Vyhodnocení návrhu aktivní zóny

Mechanické zatěžovací podmínky uvažované pro palivové kazety i HRK jsou popsány v kap. 4.2. Součástí návrhu systému paliva je zpravidla také výpočtově-experimentální potvrzení jeho vlastností. Nejdůležitější výsledky jsou shrnuty v kap. 4.2.

Návrh aktivní zóny v oblast neutronové fyziky je prováděn dodavatelem paliva za spoluúčasti renomovaných českých organizací, přičemž tento návrh obsahuje podrobné neutronově fyzikální charakteristiky palivových vsázek. Přesnost prezentovaných parametrů je podložena výsledky testování použitých výpočtových programů.

Pro vyrovnání rychlých změn reaktivity je určena mechanická soustava regulace (odstavení reaktoru, náběh na výkon, náhodné malé fluktuace, a pod). Navržený systém režimu regulace včetně havarijního zasunutí regulačních kazet do dolní polohy (pád kazet působením vlastní hmotnosti) splňuje požadavky na rychlost změny reaktivity v režimu regulace i při havarijním zásahu regulačních kazet. Stanovená kritéria pro rychlé (havarijní) odstavení reaktoru jsou splněna i v případě, kdy jedna nejúčinnější HRK zůstane ve zcela vysunuté (zaseknuté) poloze.

Pomalé změny reaktivity (zejména během vyhořívání paliva) a zajištění bezpečného podkritického stavu při výměně paliva jsou dosahovány chemickou regulací prostřednictvím roztoku H_3BO_3 v moderátoru. Tento systém splňuje účel, projektová kritéria i limity, a to jak při normální funkci, tak při poruchách.

Průkaz splnění projektových kritérií pro neutronově fyzikální charakteristiky je založen na analýzách domácích organizací a je stručně popsán v kap. 4.3.

Termohydraulické analýzy prokazují spolehlivost odvodu tepla z povrchu palivových proutků a splnění projektových kritérií i v případě uvažování odchylek parametrů a neurčitostí. Výsledky reprezentativních případů jsou shrnuty v kap. 4.4.

4.1.2 Provozní stavy elektrárny

Celé spektrum provozních stavů elektrárny je možno rozdělit do následujících kategorií (viz kap. 1.2):

- normální provoz,
- abnormální provoz,
- havarijní podmínky.

Normálním provozem se rozumí všechny stavy a operace plánovaného provozu jaderného zařízení při dodržení limitů a podmínek bezpečného provozu jaderného zařízení; jsou to zejména opětovné uvádění reaktoru do kritického stavu, ustálený provoz a odstavování reaktoru, přechodové stavy spojené s řízeným zvyšováním a snižováním jeho výkonu, údržba, opravy a výměna paliva.

Projektové limity rozložení výkonu v aktivní zóně, související se zachováním integrity paliva, jsou pro normální provoz splněny prostřednictvím konzervativního návrhu vsázek a dodržovány činností řídicího systému.

Na základě důležitých technologických a fyzikálních parametrů je definováno sedm režimů, ve kterých se může blok za normálního provozu nacházet. Těmito režimy jsou:

- Provoz na výkonu (výkon větší než 2 % nominální hodnoty, teplota chladiva větší než 250 °C)

- Nevýkonový provoz (výkon do 2 % nominální hodnoty, teplota chladiva větší než 190 °C)
- Horká rezerva (zbytkový výkon, teplota chladiva větší než 180 °C)
- Polohorká rezerva (zbytkový výkon, teplota chladiva větší než 90 °C)
- Odstavení s dochlazováním primárního okruhu (zbytkový výkon, teplota chladiva menší než 90 °C)
- Odstavení s roztěsněním primárního okruhu (zbytkový výkon, teplota chladiva menší než 90 °C)
- Vyvezení paliva z aktivní zóny (aktivní zóna neobsahuje palivo)

Základní bilance termohydraulických parametrů v typických výkonových stavech reaktoru za normálního provozu jsou popsány v kap. 4.4 a v dílu 5 (Systém chlazení reaktoru a navazující systémy).

Abnormálním provozem se rozumí stavy, operace a události, odkloňující se od normálního provozu, které jsou neplánované, ale jejichž výskyt lze při provozu jaderného zařízení očekávat; jsou to např. rychlé odstavení reaktoru, náhlý pokles zatížení turbíny, výpadek turbíny, ztráta napájení z venkovní sítě, výpadek hlavního cirkulačního čerpadla apod.; tyto provozní stavy nesmějí vést k poškození palivového systému nebo k porušení palivových elementů a k porušení integrity primárního okruhu; po jejich ukončení, resp. odstranění příčin a následků je jaderné zařízení schopné normálního provozu. Není možné vyloučit malý počet poškozených palivových proutků, avšak ten musí odpovídat kapacitě čisticího systému chladiva primárního okruhu elektrárny tak, aby nedošlo k překročení dovolených limitů aktivity primárního okruhu. Abnormální provoz se rovněž někdy nazývá „očekávané provozní události“.

Události abnormálního provozu jsou detailně analyzovány v dílu 15 (Bezpečnostní rozbory) kde je prokázáno, že existence ochranného systému splnění požadavků pro abnormální provoz zajistí.

Havarijními podmínkami jsou Odchylky od normálního provozu, které jsou méně časté ale závažnější než očekávané provozní události a které zahrnují všechny projektové nehody (DBA) a nehody v podmínkách rozšířeného projektu (DEC). Havarijními podmínkami se tedy rozumí všechny události způsobené selháním nebo porušením stavebních konstrukcí, technologických souborů a zařízení, vnějšími vlivy nebo chybami obsluhy, které vedou k porušení limitů a podmínek bezpečného provozu a které mohou způsobit poškození palivového systému nebo porušení palivových elementů. Případný únik radioaktivního materiálu však nesmí vést k nepřípustnému riziku pro obyvatelstvo a jeho bezpečnost.

Události havarijních podmínek jsou podrobně analyzovány v dílu 15 (Bezpečnostní rozbory) kde je prokázáno, že i v případě úniku radioaktivních látek do okolí elektrárny jsou stanovená radiologická kritéria splněna a reaktor je možno převést do bezpečného odstaveného stavu s dlouhodobým spolehlivým odvodem tepla.

Řídicí a ochranné systémy, které se uplatňují při dodržení požadavků abnormálního provozu a havarijních podmínek, jsou popsány v dílu 7 (Instrumentace a řízení). Vztah událostí abnormálního provozu a havarijních podmínek k událostem uvažovaným ruským dodavatelem paliva a k událostem dle obvyklých mezinárodních standardů je popsán v dílu 15 (Bezpečnostní rozbory).

4.2 Jaderné palivo

Jaderným palivem se zde rozumí (pracovní) palivové kazety a jejich komponenty a kazety regulační, sestavené z palivové části a absorpční části (nástavce). Hlavními komponentami palivové kazety i palivové části HRK jsou palivové proutky. Schéma pracovní palivové kazety je na Obr. 44., schéma havarijní, regulační a kompenzační kazety na Obr. 45.. Schéma palivových proutků je na Obr. 46..

Vlastnosti jaderného paliva (jejich prokázané charakteristiky) patří ke klíčovým parametrům, použitým v části jaderného (kap. 4.3) a tepelného (kap. 4.4) návrhu aktivní

zóny a následně, se zpětnou vazbou na jaderný a tepelný návrh, také k parametrům, použitým pro bezpečnostní analýzy.

4.2.1 Koncepce palivového systému

V souvislosti se zdůvodněním bezpečnosti palivového systému (palivových cyklů) se v souladu s použitou ruskou normativní dokumentací vyskytují termíny, jejichž význam je souhrnně uveden v dílu 15 (Bezpečnostní rozbory).

Reaktorové zařízení v komplexu jaderné elektrárny vyhovuje požadavkům bezpečnosti, jestliže jeho radiační působení na personál, obyvatelstvo a okolní prostředí při normálním provozu, narušení normálního provozu včetně projektových nehod (DBA) nevede k překročení stanovených dávek pro ozáření personálu a obyvatelstva, norem pro vypouštění a únik, obsahu radioaktivních látek v prostředí a taktéž je omezen únik při nehodách v podmínkách rozšířeného projektu (DEC).

Klíčovou částí reaktorového zařízení je reaktor a jeho aktivní zóna, která je včetně jejích částí určena k produkci tepla a jeho předávání z povrchu palivových proutků do chladiva po dobu stanovené životnosti bez překročení dovolených limitů porušení palivových proutků.

Aktivní zóna reaktoru je tvořena 312 pracovními a 37 regulačními kazetami, které se mohou přemisťovat ve vertikálním směru. Havarijní, regulační a kompenzační kazeta (HRK) sestává z palivové části a absorpčního nástavce. Návrh aktivní zóny odpovídá požadavkům české i ruské legislativy a zohledňuje odpovídající požadavky a doporučení legislativy USA, o kterou se opírá legislativa řady dalších zemí, provozujících jaderné elektrárny.

Projektové limity paliva jsou založeny na projektových limitech reaktorového zařízení a na projektu paliva. Filozofie určení projektových limitů je postavena na základních principech zajištění bezpečnosti jaderného zařízení a obsahuje v sobě následující základní cíle analýz palivového systému.

Cíl 1: Palivový systém není porušován v režimech, uvažovaných v projektu, s výjimkou havarijních podmínek.

V případě normálních provozních podmínek musí být prokázáno, že se do palivového systému nevnáší dodatečná porušení a tudíž, že jsou zachovány provozní limity, včetně provozního limitu porušení palivových proutků. Konkrétně to znamená nepřekročení podílu 0,2 % palivových proutků porušených v důsledku mikrotrhlin s defekty typu plynové netěsnosti a nepřekročení podílu 0,02 % palivových proutků s přímým kontaktem jaderného paliva s chladivem.

Režimy s narušením normálního provozu jsou charakterizované porušením provozních limitů a podmínek. V tomto případě musí být zachovány limity bezpečného provozu jaderného zařízení, včetně limitu bezpečného provozu z hlediska počtu a velikosti defektů palivových proutků. Konkrétně to znamená nepřekročení podílu 1 % palivových proutků s plynovou netěsností a nepřekročení podílu 0,1 % palivových proutků s přímým kontaktem jaderného paliva s chladivem.

Analýza palivového systému pro normální provoz a narušení normálního provozu obsahuje ověřování systému z hlediska splnění speciálních projektových kritérií palivových proutků, jak je shrnuto v části 4.2.3.

Cíl 2: Palivový systém se nepoškozuje natolik, aby bránil zavedení regulačních orgánů do aktivní zóny v případě potřeby.

Konstrukce palivových souborů musí být taková, aby tvarové změny palivových proutků a jiných prvků kazet, ke kterým může docházet za normálního provozu, při narušení normálního provozu a v důsledku projektových nehod, nezpůsobily přehrazení průchodného průřezu kazet, které by vedlo k porušení palivových proutků nad výše uvedené limity a aby nebránily normálnímu fungování pracovních orgánů ochrany a regulace reaktoru.

Cíl 3: Počet porušených palivových proutků při projektových nehodách pro analýzu dávek záření je vyhodnocen konzervativně.

Z hlediska základního principu zajištění bezpečnosti představuje palivo soustavu bezpečnostních bariér, konkrétně to jsou:

- palivová tableta jako první bezpečnostní bariéra,

- pokrytí palivového proutku jako druhá bezpečnostní bariéra.

Příslušná normativní dokumentace definuje termíny dehermetizce a porušení palivových proutků:

- dehermetizace palivového proutku: poškození proutku s porušením celistvosti jeho pokrytí typu plynové netěsnosti nebo přímého kontaktu chladiva a paliva,

- porušení palivového proutku: porušení celistvosti konstrukce palivového proutku, jehož důsledkem je ztráta geometrie, která zajišťuje projektové chlazení proutku.

Z obecných bezpečnostních požadavků plynou speciálně požadavky ke stavu palivových proutků v podmínkách projektových nehod. Podstata těchto požadavků spočívá v tom, že v projektových nehodách se nepřipouští porušení (fragmentace, tavení) palivových proutků. Přitom ale dehermetizace palivových proutků se připouští, avšak počet (podíl) dehermetizovaných palivových proutků může být omezen orgány dozoru.

Cíl 4: Odvod tepla od palivového systému ke konečnému absorbátoru tepla je vždy zajištěn.

Zachování chladitelnosti aktivní zóny znamená, že palivový soubor zachovává svoji geometrii svazku proutků s odpovídajícími kanály pro průtok chladiva. Snížení způsobilosti chlazení aktivní zóny může být důsledkem působení následujících procesů:

- křehnutí pokrytí: musí být prokázáno, že se v projektových nehodách nedosahuje teplota pokrytí palivových proutků 1200 °C, ekvivalentní stupeň oxidace pokrytí palivových proutků nepřekročí mezní hodnoty stanovené v projektu na základě experimentálních dat;

- vzájemné působení konstrukčních částí palivových proutků a chladiva: musí být prokázáno, že množství vznikajícího vodíku v důsledku chemické reakce mezi pokrytím a chladivem nesmí překročit 1 % z celkového množství, které by mohlo vzniknout zreagováním s chladivem veškerého pokrytí, obklopujícího tabletu;

- tavení paliva: musí být prokázáno, že maximální teplota paliva není vyšší než teplota tavení;

- fragmentace paliva v projektových nehodách, spojených s rychlým zvýšením reaktivity: musí být prokázáno, že radiálně středovaná entalpie palivové tabletky nesmí být vyšší než limitní hodnota, stanovená v projektu na základě experimentálních dat;

- konstrukční deformace: musí být prokázáno, že kanály, určené k průtoku chladiva, nejsou blokovány.

Konkrétní formulace kritérií chladitelnosti paliva a jejich praktické aplikace se nacházejí v dílu 15 (Bezpečnostní rozbory).

V projektu palivového systému se v rámci analýzy projektových nehod vyhodnocuje způsob a rozsah poškození/porušení palivového systému, přičemž projektová kritéria porušení palivových proutků v aktivní zóně musí být splněna s uvážením:

- projektového počtu režimů a jejich projektového průběhu,

- tepelné, mechanické a radiační deformace prvků aktivní zóny,

- limitních hodnot teplotechnických parametrů,

- vibrací a tepelného cyklování, únavy a stárnutí materiálů,

- vlivu produktů štěpení a příměsí v chladivu na korozi pokrytí palivových proutků,

- působení radiačních a jiných faktorů, zhoršujících mechanické charakteristiky materiálů aktivní zóny.

Charakteristiky použitých materiálů

Provozuschopnost a spolehlivost konstrukce kazet, palivových proutků a absorpčních materiálů při zatíženích a dalších účincích v podmínkách reaktorového zařízení jsou zajišťovány také výběrem konstrukčních materiálů, paliva a absorbátoru.

Konstrukční materiály

Kromě materiálů paliva a pokrytí jsou v konstrukci aktivní zóny široce používané oceli s vysokou korozní a radiační stabilitou a výhodnými technologickými vlastnostmi.

Pro pokrytí palivových proutků a distančních mřížek se používá zirkoniová slitina s obsahem 1 % Nb. Pro obálky pracovních kazet i palivových částí HRK se používá zirkoniová slitina s 2,5 % Nb. Tyto materiály vykazují nízké absorpční účinné průřezy pro tepelné spektrum neutronů, vysokou odolnost vůči deformaci, vyvolanou tlakovými gradienty a mechanickým působením, vysokou korozní stálost vůči působení chladiva, paliva a produktů štěpení. Zirkoniové slitiny se dobře zavedly jako pokrytí palivových proutků a obálka kazet, což se potvrzuje rozsáhlými provozními zkušenostmi u reaktorů VVER 440.

Svařování

Komponenty kazet z korozně odolných austenitických ocelí se svařují elektrickým obloukem pod argonem. Obálka pracovní kazety i HRK se svařuje elektrickým obloukem v kontrolované atmosféře wolframovou elektrodou bez přísadového materiálu, k naplnění svářecí komory se používá argon. Na svarové spoje jsou kladeny požadavky na žárupevnost (žáruvzdornost) a korozní odolnost během provozu. Obálka nástavce (absorpční části) je ke koncovým částem přivařena odporovým bodovým svarem.

Pro hermetizaci palivových proutků v kazetách s neprofilovaným obohacením se používalo svařování elektronovým paprskem nebo stykové odporové svařování. Pro hermetizaci palivových proutků v palivových kazetách se používá stykové odporové svařování.

Palivo

Jsou k dispozici základní informace o chemickém složení palivových tablet a další materiálové a rozměrové charakteristiky. Struktura palivové tablety se zkoumá na leptaných (rozměr zrn) i neleptaných (rozložení a rozměr pórů) metalografických výbrusech. Dále jsou k dispozici teplofyzikální vlastnosti UO_2 (včetně UO_2+3,35 % Gd_2O_3) a jeho délková roztažnost v závislosti na teplotě a Izotopické složení gadolinia.

Teplota tavení UO_2 je 2840 - 0,56×Bu [°C], kde Bu je vyhoření MWd/kgU. Jednotka MWd je analogie kWh, která je používaná na množství spotřebované energie. Zde se jedná o množství energie vyrobené za všechny dny pobytu paliva v aktivní zóně, vztažené na jednotku hmotnosti uranu. Závislost byla získána experimentálně a zahrnuje plutonium v rozsahu, vznikajícím během vyhoření. Přítomnost Gd_2O_3 snižuje teplotu tavení a při obsahu Gd_2O_3 3,35 % je přibližně 2550 °C.

Limitní lineární výkon palivových proutků je 325 W/cm a snižuje se s vyhořením až k hodnotě 200 W/cm při středním vyhoření palivového proutku 70 MWd/kgU.

Absorpční materiály

Materiálem absorpčních vložek absorpčních nástavců je korozně odolná bórová ocel, přítomný izotop ^{10}B v absorpčních vložkách může vyhořet až na 74 %, přičemž struktura materiálu zůstává prakticky stejná jako na počátku.

V palivové části HRK použité Hf destičky, přivařené k vnitřnímu povrchu obálky kazety, mohou používat Hf dvou typů, při výběru absorpčního materiálu pro tyto

destičky se vycházelo ze standardních požadavků na materiály palivového systému, kterým Hf vyhovuje.

Program kontroly a dlouhodobého testování

Těsnost pokrytí proutků pracovních kazet a palivových částí HRK je vyhodnocována on-line měřením aktivity štěpných produktů v chladivu primárního okruhu. Toto vyhodnocování během provozu se periodicky provádí po celou délku cyklu (provozu vsázky, tj. mezi výměnami paliva). Dále se na odstaveném reaktoru provádí off-line kontrola hermetičnosti pokrytí systémem sipping. V případě podezření na netěsnou kazetu prochází tato měřením systémem kontroly hermetičnosti pokrytí.

Výrobce paliva provádí rozsáhlé statistické analýzy dat z kontroly těsnosti pokrytí vyvezených pracovních kazet a palivových částí HRK provozovaných na různých elektrárnách, zvláště pro velká vyhoření. Tyto analýzy ukazují vysokou spolehlivost a provozuschopnost palivových článků testovaných kazet.

4.2.2 Popis a konstrukční výkresy

Aktivní zóna

Aktivní zóna reaktoru je tvořena 349 kazetami, z toho je 312 pracovních a 37 havarijních, regulačních a kompenzačních kazet (HRK), které se mohou přemisťovat ve vertikálním směru. HRK je pracovním orgánem systému ochrany a regulace a je složena ze dvou částí: z palivové části a z absorpčního nástavce (absorbátoru), spojených vloženou tyčí, která je spřažena s tyčí pohonu. HRK a plní následující funkce:

- zajišťuje rychlé přerušení řetězové reakce v reaktoru rychlým pádem absorpčního nástavce do aktivní zóny a současným vysunutím její palivové části z aktivní zóny,
- podílí se na automatické regulaci s cílem udržení výkonu reaktoru na zadané hladině a přechodu z jedné výkonové hladiny na druhou,
- kompenzuje rychlé změny reaktivity (teplotní a výkonový efekt, vyhoření, otravu, atd.).

Uspořádání pracovních kazet a HRK v aktivní zóně je v trojúhelníkové mříži s krokem 147 ± 0,6 mm. Základní technické charakteristiky pracovní kazety a HRK jsou následující:

Hmotnost uranu:

- v pracovní kazetě: (135,5 ± 1,9) kg
- v palivové části HRK: (129,3 ± 1,9) kg

Výpočtové hmotnosti:

- pracovní kazety, celková: 225 kg
- HRK, celková: 335,4 kg

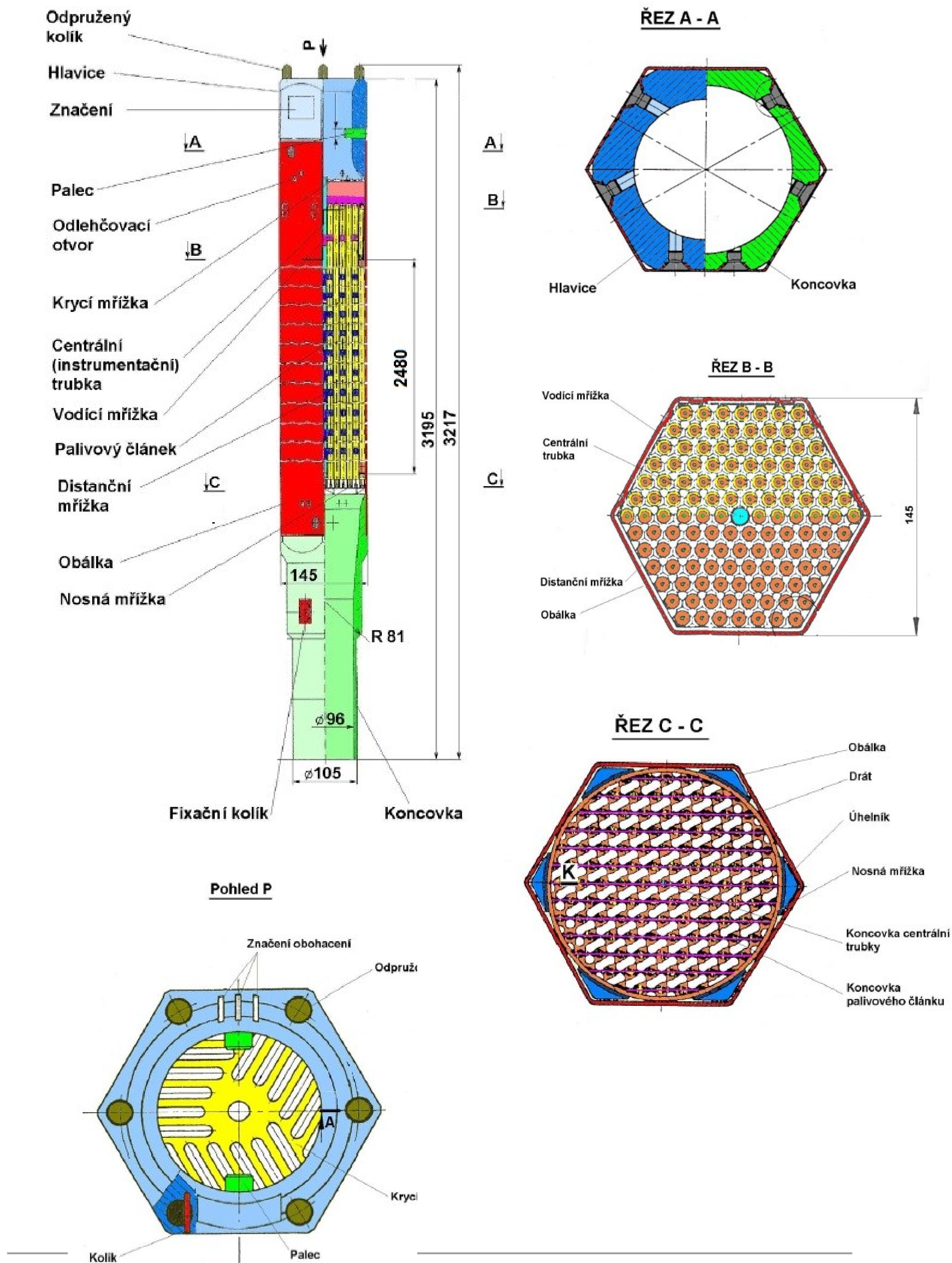
Všechny HRK jsou rozděleny do 6 skupin po 6 kazetách, v jedné skupině jich je 7. Normální rychlost pohybu HRK v režimu regulace je konstantní a je rovná 0,02 m/s, za havarijních podmínek při ztrátě napájení elektromotorů a v režimu působení havarijní ochrany je rychlost pohybu (pád) 0,2 - 0,3 m/s.

Průtok chladiva svazkem pracovní kazety, palivové části HRK i absorpčním nástavcem je 100 ÷ 130 m^3/h.

Pracovní kazeta

Pracovní kazeta je tvořena svazkem palivových proutků, hlavicí, koncovkou a šestihrannou obálkou (Obr. 44.). Palivové proutky jsou v palivové kazetě rozmístěny v trojúhelníkové mříži s krokem 12,3±0,12 mm a vzájemně spojeny distančními mřížkami voštinového typu mechanicky upevněnými na centrální trubce, a dolní nosnou mřížkou, upevněnou v koncovce. Dolní nosná mřížka je přivařena ke koncovce, která je určena k usazení pracovních kazet do dna koše aktivní zóny. Pracovní kazety se do určených

pozic dna koše aktivní zóny (tzv. hnízd) usazují koncovkou, přičemž se zaobleným povrchem opírají o kónickou část „hnízda“.



Obr. 44. Pracovní palivová kazeta

Pro orientaci při usazování je na koncovce pracovní kazety fixační kolík a ve dnu koše odpovídající vybrání (drážka).

Hlavice pracovní kazety je na šestihranném povrchu pevně spojena s obálkou. V hlavici pracovní kazety jsou dva čepy pro transportní úchyt zavážecího stroje a šest odpružených opěr, bránících kazetě v samovolném zvednutí v důsledku tlaku ze spodu proudícího chladiva, tedy tzv vyplavání, a kompenzujících tepelná roztažení a technologické tolerance vnitroreaktorových zařízení. K dolní části hlavice je upevněna ochranná mřížka. Pro kompenzaci tepelného roztažení a radiačního růstu vzhledem k nosné mřížce je konstrukcí pracovní kazety zajištěna možnost prodloužení palivových proutků.

V koncovce pracovní kazety je umístěn antidebrisní filtr (ADF), což je kónický kruhový filtr – kužel vytvořený sadou soustředných kotoučů různých průměrů o tloušťce 1,5 mm a oddělených čtyřmi žebry, která mezi kotouči zajišťují mezeru šířky 2 mm. ADF brání průniku mechanických nečistot v chladivu do vnitřku palivové kazety.

Pracovní kazety mají rozměr pod klíč $145_{-0,77}^{+0,27}$, k základním charakteristikám patří:

- krok proutků ve svazku 12,3 mm,
- krok mezilehlých distančních mřížek 250 mm,
- vzdálenost mezi dolní nosnou mřížkou a první distanční mřížkou 160 mm,
- tři dolní mřížky o výšce 20 mm.

Pracovní kazeta je zkompletována z palivových proutků (s příměsí Gd i bez Gd) o délce 2601,5 m a vnějším průměru 9,1 mm, délka palivového sloupce je 2480 mm a je vytvořen z palivových tablet s vnějším průměrem 7,8 mm bez centrálního otvoru. Při výrobě obálek kazet i pokrytí palivových proutků se používají zirkoniové slitiny se sníženým zastoupením Hf - maximální hmotnostní podíl 0,01 %.

Havarijní, regulační a kompenzační kazeta

HRK je tvořena absorpčním nástavcem (Obr. 45.) a palivovou části HRK (Obr. 45.), které jsou vzájemně spojeny vloženou tyčí. Palivové proutky jsou v palivové části HRK rozmístěny v trojúhelníkové mříži s krokem 12,3±0,12 mm. Absorpční nástavec představuje svařovanou konstrukci z nerezové oceli o hmotnosti 110 kg, uvnitř které se nacházejí šestihranné vložky z bórové oceli.

Palivová část HRK je konstrukčně podobná pracovní kazetě. HRK je spojena pomocí vložené tyče se spojovací tyčí pohonu. Hlavice palivové části je opatřena spojovacím mechanizmem bajonetového typu se sedlem pod trojhranný fixátor, zajišťující upevnění s vloženou tyčí. Vložená tyč, procházející středem absorpčního nástavce po celé jeho délce, se spojuje s bajonetovým mechanizmem, umístěným v hlavici palivové části HRK, přičemž upevňovací trojhranná tyč vložené tyče vstupuje do sedla hlavice palivové části, čímž se vylučuje pootočení a následné rozpojení palivové části s vloženou tyčí.

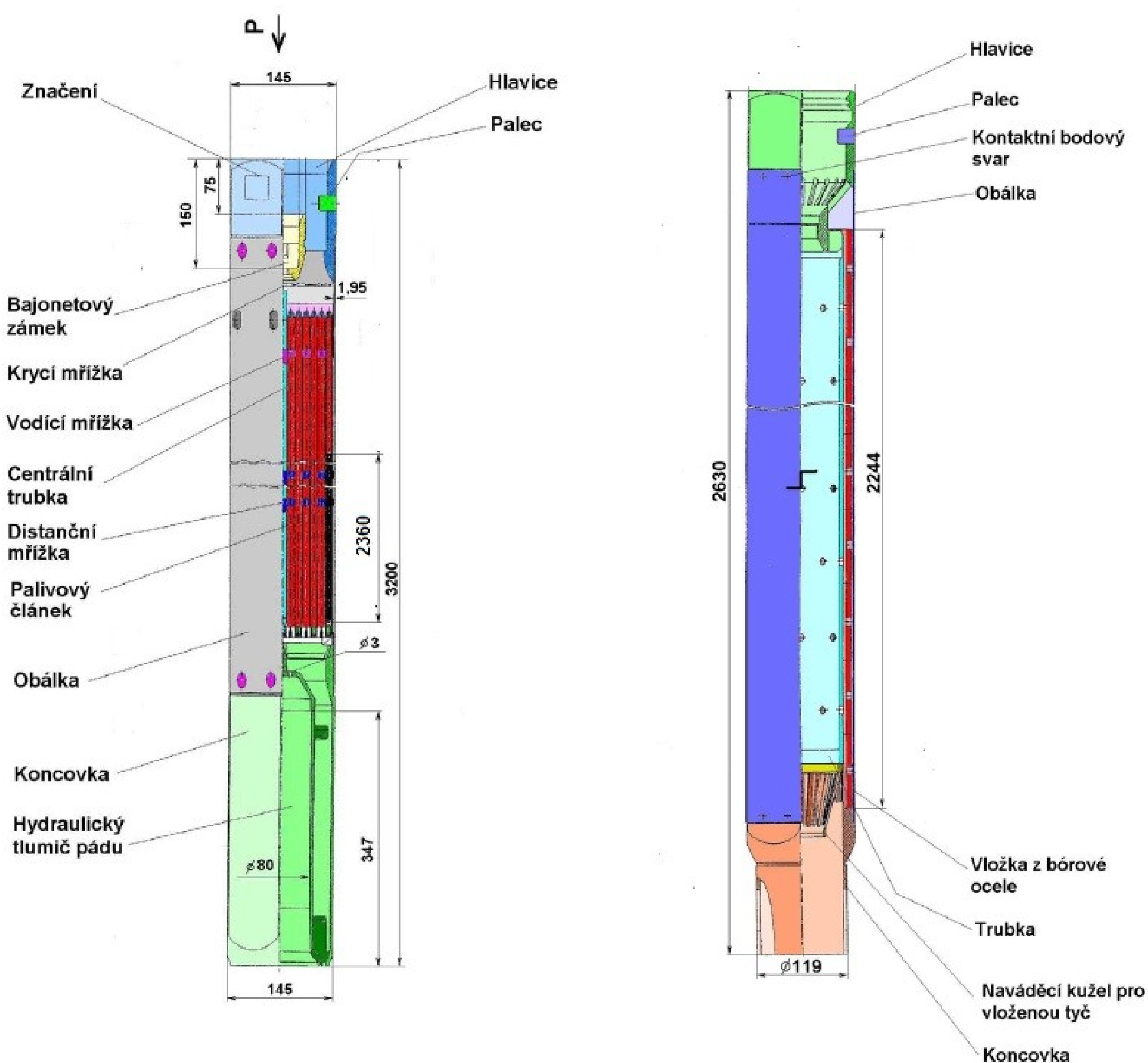
V koncovce palivové části je umístěn brzdicí mechanizmus (brzdicí zvon), který zajišťuje brzdění HRK ve všech havarijních situacích včetně režimu spojeného s utržením vložené tyče. Princip brzdění je založen na škrcení chladiva mezerami, vytvořenými mezi tyčí umístěnou na dně šachty reaktoru a brzdicím zvonem koncovky palivové části v okamžiku pádu HRK a dosednutí zvonu na tyč.

Pro potlačení výkonových špiček jsou v palivových částech HRK na vnitřním povrchu obálek kazet rozmístěny Hf desky. Desek je v kazetě 6 (na každé stěně jedna) a jsou přivařeny v úseku mezi horním čelem palivového sloupce v proutku a dolním čelem hlavice palivové části HRK. Délka Hf desek je 150,4 mm, šířka 76,2 mm, tloušťka 0,6 mm. Upevnění desek k obálce kazety je provedeno bodovými svary.

Charakteristiky palivové části HRK jsou analogické jako u pracovní palivové kazety.

Palivové proutky (bez Gd i s Gd)

Konstrukce a základní rozměry palivových proutků pracovních kazet a palivových částí HRK jsou uvedeny na Obr. 46.. Palivový proutek představuje válcové pokrytí (trubku), uzavřenou na koncích zátkami pomocí odporového stykového svaru (svařování na tupo). Uvnitř trubky se nachází palivový sloupec, sestavený z tablet oxidu uranu (tvel) nebo z tablet oxidu uranu s přidaným Gd_2O_3 (tveg), upevněný proti přemístění při dopravě pomocí pružinového fixátoru zhotoveného z oceli s vysokým obsahem niklu. Celková délka mezer ve sloupci paliva, bez uvážení jednotlivých mezer o délce méně než 1 mm každá, není větší než 2 mm.



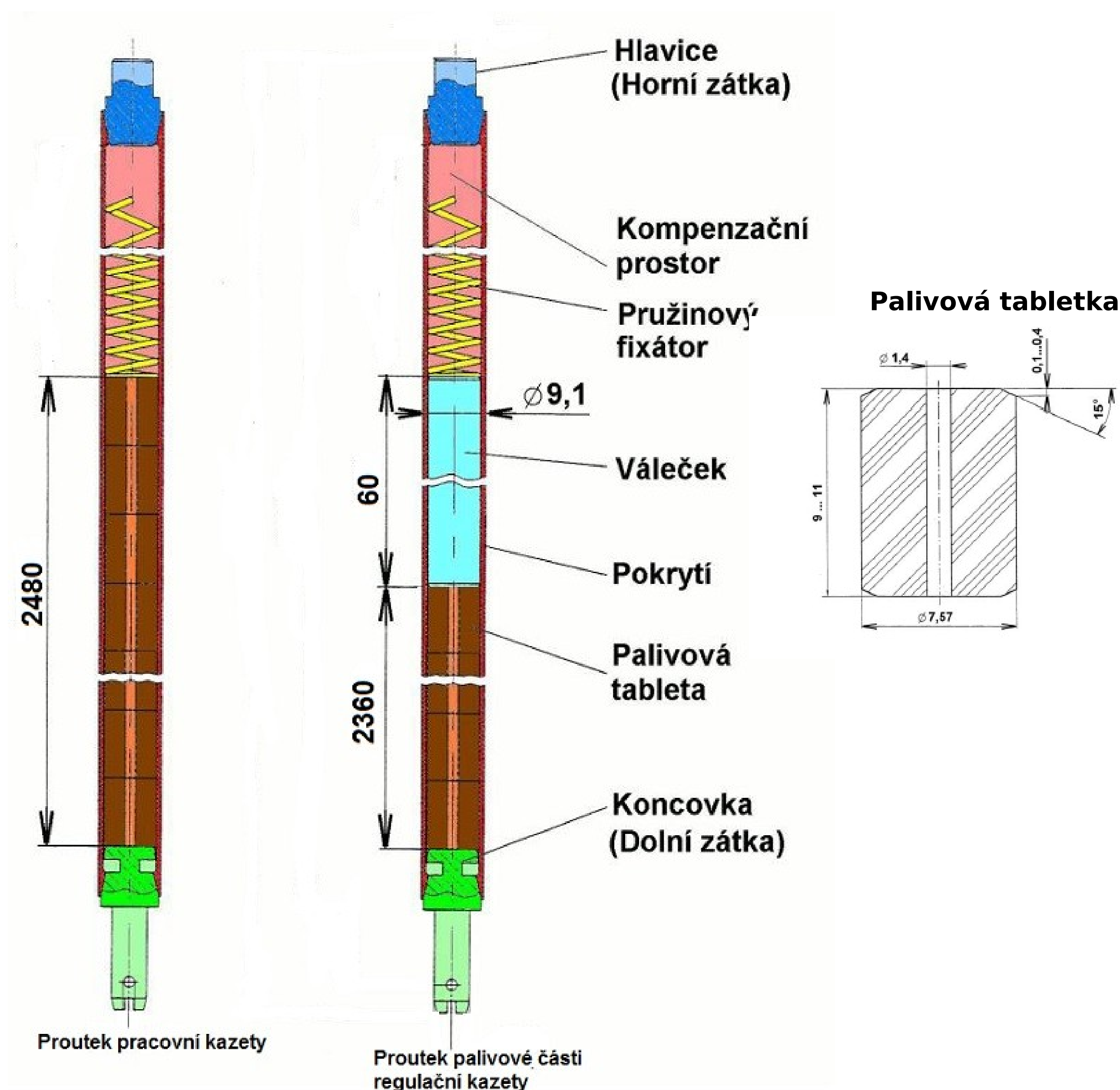
Obr. 45. Havarijní, regulační a kompenzační kazeta (palivová část a absorpční nástavec)

Palivový proutek palivové části HRK (Obr. 46.) je konstrukčně analogický palivovému proutku pracovní kazety a liší se od něho v tom, že pro kompenzaci zákmitů (špiček)

neutronového pole je nad sloupcem paliva umístěn kovový sloupek z chromniklové nerezové austenitické oceli o délce 60 mm.

Pro snížení teploty paliva (vlivem zlepšení vodivosti plynové mezery mezi palivovou tabletou a vnitřním povrchem pokrytí palivového proutku) je vnitřní volný prostor proutku zaplněn heliem s tlakem 0,5-0,7 MPa.

Pro plynné produkty štěpení, které se uvolňují za provozu palivového proutku na výkonu, se nachází v konstrukci proutku kompenzační objem, situovaný v jeho horní části a představující volný objem mezi dolním čelem horní zátky a horním čelem palivového sloupce v pracovní kazetě nebo horním čelem ocelového sloupku v proutcích palivových části HRK.



Obr. 46. Palivové proutek pracovní kazety a palivové části HRK

Palivová tabletka

Palivové tabletky (Obr. 46.) jsou ze spékaného dioxidu uranu a tvoří palivový sloupec palivového proutku. Jsou v provedení s centrálním otvorem, v nejnovějších verzích paliva bez centrálního otvoru.

Distanční mřížky

Všechny mřížky v konstrukci kazet aktivní zóny je možno rozdělit na 3 typy: nosné, distanční a ochranné.

Nosná (dolní) mřížka se pomocí montážních úhelníků (úžlabí) přivařuje ke koncovce kazety a slouží k přejímání tíhy svazku palivových proutků a k jejich upevnění proti možnému přemístění. Kromě toho má nosná mřížka potřebný počet průchozích otvorů (perforaci) pro průtok chladiva, postupujícího přes koncovku kazety do svazku palivových proutků. Materiálem nosné mřížky je chromniklová nerezová ocel.

Distanční mřížky slouží k sestavení palivových proutků do svazku a k jejich distancování v pracovních kazetách i palivových částech HRK za provozu reaktoru. V konstrukci kazet se nachází 11 distančních mřížek včetně horní.

Ochranná mřížka (neboli síťka) je umístěna v hlavici kazety a je k ní upevněna pomocí svaru. Funkčně je tato mřížka určena k vyrovnávání rychlostního profilu rozložení průtoku chladiva na výstupu z kazety, a taktéž k zabránění únosu úlomků (částí) palivových proutků do primárního okruhu reaktorového zařízení v případě jejich možné fragmentace za havarijních podmínek. V konstrukci pracovních kazet i palivových částí HRK je stejná ochranná mřížka. Materiálem ochranné mřížky je nerezová ocel.

Na aktivní délce kazety se nachází 10 distančních mřížek s krokem 250 mm. Vzdálenost mezi dolní nosnou mřížkou a následující distanční mřížkou je 160 mm. Výška mezilehlých distančních mřížek je 10 mm, u tří dolních 20 mm.

Konstrukce a technologie zhotovení distanční mřížky a jejích buněk zajišťují nezbytnou rezervu pružnosti, zaručující fixaci a přitlačení palivových proutků v průběhu provozu pracovních kazet i palivových částí HRK v reaktoru.

Zirkoniové distanční mřížky byly podrobeny komplexnímu zdůvodnění, které zahrnovalo následující práce:

- výpočtové a experimentální stanovení elasticko-plastických charakteristik konstrukce a vypracování technologie výroby,
- zkoumání korozních vlastností,
- zkoumání chování Zr distančních mřížek za podmínek nehod se ztrátou chladiva,
- zkoušky na vzorcích vibračního opotřebení,
- testy životnosti kazet se Zr distančními mřížkami na stendu,
- provoz zkušebních sérií kazet v reaktoru,
- zkoumání jedné kazety po 3letém a jedné po 4letém provozu po jejich vyjmutí z reaktoru.

Výsledky zkoumání kazet po vyjmutí z reaktoru ukázaly, že distanční mřížky zachovaly své vlastnosti tak, aby mohly plnit svoje předurčené funkce.

Obálka pracovní kazety a palivové části HRK

Tloušťka plechu, který jde na výrobu obálky profilované kazety, je 1,5 +0,15 mm. Obálka pracovní kazety představuje troubu šestihranného průřezu s tloušťkou 1,4 ± 1,65 mm, s délkou 2725±0,5 mm a s rozměrem pod klíč 145-0,7 mm.

Na koncích obálky se nachází otvory (po jednom na každé stěně), určené k upevnění obálky k hlavici a koncovce pracovní kazety, a otvory o průměru 9 mm (po čtyřech na každé stěně) pro odlehčení obálky při vzniku tlakových spádů, které se mohou vyskytnout v případě havarijních situací, spojených s prasknutím hlavního cirkulačního potrubí. Funkčním posláním obálky je vytvoření silového skeletu, ochrana svazku palivových proutků před mechanickým působením a usměrňování průtoku chladiva.

Obálka palivové části HRK je konstrukčně analogická obálce pracovní kazety, s několika výjimkami, z nichž nejvýznamnější je umístění 6 desek z Hf (po jedné na každé stěně) na jejím vnitřním povrchu

Povrch obálek kazet musí být bez trhlin a odlupujících se vrstev. Hloubka mechanických poškození (otěr, rýhy, vrypy) nesmí přesáhnout 0,1 mm. Materiálem obálek je zirkoniová slitina s 2,5 % Nb.

Absorpční nástavec

Absorpční nástavec (viz Obr. 45.) je komponentou HRK a je tvořen následujícími základními částmi: hlavicí, 22 vložkami, centrální trubkou a koncovkou. Hlavice nástavce je určena pro umístění přepravních čepů a taktéž pro upevnění horního konce obálky. Vložka je vyrobena z bórové oceli a je určena k absorbování neutronů. Centrální trubka slouží k formování vnitřní průtočné části a nezbytných absorpčních vlastností nástavce. Obálka (plášť) je určena k vytvoření pevného silového rámu nástavce a k umístění vložek. Obálka je pomocí odporového svaru (dva body na každé stěně) spojena s hlavicí a koncovkou nástavce.

Koncovka nástavce slouží k upevnění dolní části obálky a k vytvoření dosedacího válcového povrchu, na jehož vnějším obvodu se koncovka nástavce spojuje s hlavicí palivové části HRK. Na válcovém povrchu koncovky jsou dvě vertikální drážky, do kterých (při sestavování nástavce s palivovou částí HRK) zapadají čepy hlavice palivové části HRK, fixující nástavec proti pootočení.

Absorpční vložka

Vložka představuje hexagonální trubku s tloušťkou stěny 7,1 mm, s výškou 102 mm a s rozměrem pod klíč 137 mm. Na vnějším povrchu každé stěny jsou vytvořeny čtyři sférické výstupky o výšce 2,5 mm a s kulovým poloměrem 8 mm. Při plnění nástavce vložkami dochází pomocí těchto výstupků k centrování vložek na vnitřním povrchu obálky. Materiálem vložek je chromniklová nerezová ocel s přísadou přírodního bóru 1,6 ± 2,0 hmotnostních %. Vložka se značí elektrografickým způsobem na čelním povrchu.

Upevňovací díly

K upevňovacím dílům patří prvky konstrukce pracovních kazet a palivových částí HRK, určené ke spojování jejich základních uzlů během montáže buď mechanicky, nebo pomocí svaru. Materiálem upevňovacích dílů je chromniklová nerezová ocel.

4.2.3 Hodnocení návrhu paliva

V projektu aktivní zóny jsou stanoveny dovolené režimy paliva, které pokrývají ohřevy ze studeného stavu, zafungování rychlého odstavení reaktoru, výkonové změny (najíždění bloku a primární, sekundární a terciární regulace). Musí být také zdůvodněny pevnostní charakteristiky kazet při kombinaci maximálního výpočtového zemětřesení s provozními režimy a s událostí prasknutí hlavního cirkulačního potrubí. Ve výsledku je konstatována možnost odstavení reaktoru a následná demontáž aktivní zóny.

Součástí testů a zkoušek paliva jsou:

- Koeficienty hydraulického odporu (jejich určování pro pracovní kazety i palivové částí HRK se zirkoniovými distančními mřížkami voštinového typu bylo prováděno prostřednictvím hydraulických zkoušek odpovídajících pracovních kazet i palivových částí HRK na stendu OKB Gidropress).
- Testy životnosti kazet (mechanická celistvost konstrukce pracovních kazet a palivových částí HRK se prověřovala testy životnosti na stendech horkého záběhu B-440, termohydraulické charakteristiky chladiva odpovídaly charakteristikám a parametrům chladiva primárního okruhu reaktoru VVER-440, vnitřní prostor stendu co do geometrie plně imitoval standardní kanály pod pracovními kazetami i HRK, vodní režim na stendu se udržoval v souladu s normami, aplikovanými pro primární okruh energetických zařízení uvedeného typu).

- Kritické tepelné toky (dodavatelem paliva používaná korelace OKB pro výpočet kritického tepelného toku je založena na experimentech, realizovaných na svazcích proutků při režimových parametrech VVER. Část experimentů se prováděla na svazcích proutků s distančními mřížkami typu VVER-440, část na svazcích prutů s distančními mřížkami typu VVER-1000. Experimenty byly provedeny jak na svazcích s rovnoměrným ohřevem, tak na svazcích s nerovnoměrným ohřevem po výšce svazku. Celkově bylo pro zdůvodnění korelace zpracováno 765 experimentálních bodů).
- Cyklická únava, opotřebení, otěr pokrytí palivových proutků (podle výsledků zkoumání po skončení provozu v reaktoru, která byla provedena v horkých komorách, byla zjištěna vysoká spolehlivost palivových proutků i mřížek pracovních kazet i palivových částí HRK po provozu 3, 4 i 5 let. Nedochází k porušení palivových proutků vlivem cyklické únavy, opotřebení, nebo otěru. Při prohlídce palivových proutků jak pod mřížkami, tak i v prostoru mezi mřížkami, byl stav povrchu uspokojivý. Prohlídka mřížek ukázala, že jakost povrchu v místech kontaktu i mimo ně je dobrá a nevykazuje jakékoliv rozdíly. V místech kontaktu proutků s mřížkami existují stopy kontaktu bez otěru styčných ploch. Svědčí to o dostatečné odolnosti vůči vibračnímu opotřebení (fretting-koroze) pokrytí palivových proutků a distančních mřížek).
- Korozní stálost, hydridace (za 5 let provozu a hloubce vyhoření paliva do 50 MWd/kgU nepřevyšovala maximální oxidace vnějšího povrchu pokrytí palivových proutků 8 μm při střední hodnotě ne více než 5 μm. Na vnitřním povrchu pokrytí byla tloušťka vrstvy větší než na vnějším povrchu a dosahovala hodnotu do 17 μm za 5 let provozu. Maximální tloušťku má vrstva ve střední zóně po výšce pokrytí palivových proutků. Na koncích pokrytí je vzájemné působení s prostředím menší. K lokální korozi pokrytí nedochází. Hydridace pokrytí je nevýznamná, množství vodíku se zvyšuje maximálně do 0,009 hmotnostních %. Velké radiální hydridy, významně snižující provozuschopnost palivových proutků, nebyly v pokrytí zjištěny).
- Pevnostní charakteristiky kazet

  - Projektová kritéria

    Do základů metod výpočtu pevnostních charakteristik a životnosti kazet jsou vloženy principy hodnocení podle následujících limitních stavů:

    - krátkodobý houževnatý lom,
    - plastické tečení v celém objemu součásti (dílu),
    - vznik makrotrhlin při cyklickém zatěžování,
    - ztráta stability.

  - Metody výpočtu a programové prostředky

    Pro určení sil a momentů, působících v průřezech, posuvů a napětí v počítaných prvcích konstrukcí při statickém zatížení, se používají všeobecně známé metody teoretické mechaniky, pevnosti materiálů, teorie desek a skořepin.

  - Uvažovaná zatížení

    Charakter zatížení pracovních kazet a palivových částí HRK je v provozním procesu určen jejich funkčním posláním a výrazně se liší. Spolu s existujícími konstrukčními rozdíly to vede k nutnosti uvažovat je při pevnostních výpočtech odděleně. Jak pracovní kazeta, tak palivová část HRK jsou poměrně složitými objekty pro výpočtové analýzy pevnosti. Proto je značný objem prací věnován experimentálnímu zkoumání a získávání zkušeností z provozu.

    Životnost pracovní kazety je nejdéle 6 let, palivové části HRK nejdéle 5 let (z toho v tzv. regulační skupině nejdéle 2 roky), absorpčního nástavce nejdéle 10 let (v regulační skupině nejdéle 4 roky), po deseti a dalších letech se provádí revize absorpčního nástavce.

  - Výsledky výpočtů pro normální a abnormální provoz

Provedená analýza stavu napětí v komponentách pracovní kazety a kazety HRK ukazuje, že maximální pravděpodobnost poškození za dobu používání (životnosti) se dá očekávat u komponent nástavce kazety HRK. Výpočtem bylo zjištěno, že maximální výpočtová pravděpodobnost poškození za dobu používání (životnosti) vzniká v materiálu koncovky nástavce při cyklickém zatěžování, souvisejícím se změnou zatížení při zapůsobení havarijní ochrany a se změnami teplotních polí v režimech výkonových změn reaktoru. Tato pravděpodobnost nedosahuje hodnotu 1, což znamená, že v materiálu komponent nástavce nedochází ke vzniku trhliny při cyklickém zatížení únavovým mechanizmem. Tím je odolnost vůči cyklické únavě zajištěna.

Stabilita obálky pracovní kazety v režimu transportně-technologických operací vůči podélné přítlačné síle od tyče zavážecího stroje je zajištěna.

Stabilita obálky HRK v režimu zapůsobení havarijní ochrany vůči současnému působení podélné síly a vnějšího tlaku je zajištěna.

- Výsledky výpočtů pro havarijní podmínky

Pevnost a deformace prvků pracovní kazety a palivové části HRK za havarijní situace spojené s roztržením hlavního cirkulačního potrubí v oblasti vstupního nebo výstupního nátrubku reaktoru byla sledována z bezpečnostního hlediska. Obdržená napětí v obálce pracovní kazety a v dolní nosné konstrukci pracovní kazety nepřekračují dovolené hodnoty.

Výsledky výpočtů prokazují, že pro běžné tlakové spády a dynamické charakteristiky kazet je zajištěna pevnost a stabilita prvků pracovních kazet a kazet HRK při postulované nehodě způsobené roztržením hlavního cirkulačního potrubí ve svárovém švu v oblasti vstupního a výstupního nátrubku reaktoru, současně je zabezpečena i možnost odstavení, chlazení a následné demontáže aktivní zóny.

Stabilita prvků pracovní kazety i palivové části HRK je za havarijních podmínek zajištěna.

- Výsledky výpočtů pro seismické působení

Pevnost a stabilita kazet a jejich elementů je při současném působení normálního provozu i maximálního projektového zemětřesení zajištěna.

- Analýza odolnosti proti vibracím

Při analýze odolnosti prvků pracovní kazety a palivové části HRK proti vibracím se provádí srovnávací dynamická analýza, protože údaje o amplitudách a charakteru zapůsobení dynamických zátěží na některou z komponent konstrukce pracovní kazety nebo palivové části HRK nejsou k dispozici. Analýza se provádí pro dvě varianty konstrukce: „referenční“ a „nová“, jejíž odolnost proti vibracím je třeba prokázat (v případě, že se kterýkoliv prvek její konstrukce liší od „referenční“). Jako „referenční“ je brána konstrukce, která je spolehlivě provozována na různých blocích JE s reaktory VVER-440. Analýza se provádí stejným výpočtovým algoritmem pro dynamická zatížení se stejnou amplitudou a stejným utlumením v experimentálně zjištěném rozsahu frekvencí.

Výsledky provedených srovnávacích dynamických analýz, s uvážením úspěšného provozu ukazují, že i odolnost pracovních kazet a palivových částí HRK s palivovými proutky se ztenčeným pokrytím a palivovou tabletkou o průměru 7,8 mm bez centrálního otvoru, je zajištěna.

- Shrnutí pro pevnostní charakteristiky kazet

Pevnost a stabilita pracovních kazet i palivových částí HRK je zajištěna v režimech normálního provozu a při narušení normálního provozu, a pak také při kombinovaných zatíženích normálního provozu s projektovým i maximálním projektovým zemětřesením a narušení normálního provozu s projektovým i maximálním projektovým zemětřesením.

V případě havarijní situace roztržení hlavního cirkulačního potrubí je zajištěno odstavení reaktoru, havarijní dochlazování a následná demontáž aktivní zóny.

- Výpočtově-experimentální ověření palivového proutku

Provozuschopnost palivových komponent ve stacionárním režimu, přechodových režimech za normálního provozu a při narušení normálního provozu a v manévrovacích režimech se dokládá prověrkou splnění skupin projektových kritérií, která zajišťují základní požadavek, aby v projektových režimech nedocházelo k porušení palivových proutků bez Gd i s Gd. Prostřednictvím projektových pevnostních, deformačních, teplofyzikálních a korozních kritérií se kontrolují základní procesy, ke kterým v palivových proutcích obou typů dochází.

Pevnostní kritéria

- korozní praskání pod napětím v atmosféře agresivních produktů štěpení,
- limitní ekvivalentní napětí v pokrytí,
- obvodová ztráta stability pokrytí vlivem tlakového spádu,
- únavová a dlouhodobá pevnost pokrytí,
- Limitní zbytková deformace pokrytí.

Deformační kritéria

- limitní hodnota změny průměru pokrytí palivového proutku,
- limitní hodnota prodloužení pokrytí.

Teplofyzikální kritéria

- limitní teplota paliva,
- limitní hodnota tlaku plynové náplně pod pokrytím palivového proutku,

Korozní kritéria

- oxidace vnějšího povrchu pokrytí,
- hydridace pokrytí.

Opotřebení pokrytí třením

Výpočtově-experimentální ověřování ukazuje, že provozuschopnost palivových proutků za normálního provozu i při narušení normálního provozu je zajištěna z hlediska všech přijatých kritérií.

4.2.4 Plán zkoušek a kontrol

Projektové charakteristiky komponent systému paliva, včetně materiálů použitých k jejich výrobě, jsou ve výrobním závodě kontrolovány na všech etapách výroby při přejímce výrobků, montážních jednotek, uzlů a kompletujících součástí v souladu s požadavky konstrukční a technologické dokumentace. Program řízení jakosti zahrnuje rozměrové a vizuální kontroly, materiálovou certifikaci, nedestruktivní zkoušky pomocí rentgenu nebo ultrazvuku, destruktivní zkoušky vybraných vzorků. Z hlediska rozsahu kontroly se používají následující varianty:

- Úplná kontrola, při které rozhodnutí o jakosti produkce je podloženo kontrolou každé jednotky výroby.
- Namátková kontrola, při které rozhodnutí o jakosti kontrolované produkce je podloženo výsledky kontroly jednoho nebo několika výběrů nebo vzorků z dávky.
- Kontrola na vzorcích, při které rozhodnutí o způsobilosti dávky materiálu, výrobků, nebo samostatného výrobku je podloženo zkouškami vzorků, vybraných z dávky materiálu nebo vyrobených společně s výrobky.

Jako další se provádí kontroly v místě dodání paliva, kontroly hermetičnosti palivových proutků ozářených kazet a revize absorpčního nástavce. Během provozu se uskutečňuje kontrola aktivity chladiva, na jejímž základě lze určit stav hermetičnosti palivových proutků.

4.2.5 Požadavky na jakost paliva

Odpovědnost dodavatele jaderného paliva ve vztahu k jakosti dodávaných výrobků a služeb je stanovena smluvně v kontraktech na dodávky jaderného paliva a souvisejících služeb. Podle příslušných ustanovení těchto kontraktů má dodavatel ustanoven a zaveden Program zajištění jakosti projektování a výroby zdokumentovaný písemnými předpisy a procedurami. Kopie tohoto Programu je v rámci plnění kontraktu předána odběrateli.

Odběratel má právo ověřovat systém jakosti výrobce, auditovat záznamy o materiálech, testech a kontrolách jaderného paliva vyráběného pro odběratele, provádět dohled při výrobě, kontrolách a testech jaderného paliva určeného pro odběratele.

Základním průvodním dokladem o jakosti dodávaného jaderného paliva, který výrobce předává odběrateli současně s dodávkou, je Pasport. Tímto dokumentem výrobce jaderného paliva potvrzuje jeho způsobilost k využití u odběratele.

4.2.6 Nezávislé analýzy domácích organizací

Pro kap. 4.2 jsou klíčovými podklady od dodavatele paliva. Domácími českými organizacemi jsou pak provedeny nezávislé verifikační analýzy, zaměřené konkrétně na:

- projektová kritéria palivového proutku,
- odolnost proti vibracím,
- seizmickou odolnost,
- termomechanickou analýzu palivové kazety.

4.3 Jaderné charakteristiky

Předkládané výsledky v kap. 4.3 mají v principu dvojí smysl: přímého průkazu splnění stanovených projektových zásad resp. projektových kritérií a limitních parametrů, a tím splnění legislativních požadavků, a/nebo nepřímého průkazu prostřednictvím vymezení parametrů, poskytovaných pro bezpečnostní analýzy v dílu 15, kde jsou přímé průkazní analýzy prezentovány pro případy abnormálního provozu a havarijních podmínek.

4.3.1 Koncepce

Hlavní zásady konfigurace aktivní zóny odpovídají projektu reaktoru VVER-440, typ V-213. Koncepce návrhu palivových vsázek (cyklů) s odpovídajícími jadernými charakteristikami přitom vychází z obecných legislativních požadavků platných v zemi původu dodavatele paliva, přičemž současně musí být splněny požadavky české legislativy. Palivovou vsázkou (cyklem) se v těchto souvislostech rozumí časový úsek od záměny (příp. od prvního zavezení) čerstvého paliva do další záměny.

Jak legislativa země původu dodavatele paliva, tak i česká legislativní dokumentace obsahuje řadu požadavků, které se týkají přímo aktivní zóny reaktoru, přičemž několik z nich má bezprostřední vztah k jaderným charakteristikám. Splnění legislativních požadavků je zajišťováno prostřednictvím projektových zásad (viz níže), které mohou být v některých případech kvantifikovány jako projektová kritéria nebo přímo jako limitní parametry. Při splnění projektových zásad/kritérií jsou splněny obecné legislativní požadavky. Ověření projektových zásad/kritérií je součástí ověřování fyzikálních charakteristik aktivní zóny, kterému se věnuje část 4.3.2.

Vyhoření paliva – projektové zásady a kritéria

V případě vyhoření paliva, přestože není explicitně definovaným kritériem, jsou jeho maximální projektové hodnoty klíčovým parametrem, uvažovaným při termomechanických analýzách i při celkovém životnostním hodnocení palivových proutků. Z hlediska jaderných charakteristik lze jako projektovou zásadu chápat maximalizaci integrální produkce energie, reprezentovanou vyhořením paliva, která je podmíněna dostatečnou zásobou reaktivity a její adekvátní kompenzací. Současně jsou kvantifikována projektová omezení na vyhoření, u maximálně vyhořelého palivového proutku bez Gd to je 69,9 MWd/kgU, u maximálně vyhořelého palivového proutku s Gd to je 68,2 MWd/kgU.

Záporné zpětné vazby reaktivity (koeficienty reaktivity) – projektové zásady a kritéria

Palivové vsázky musí být projektovány tak, aby celkový teplotní koeficient reaktivity byl záporný vždy, kdy se nachází reaktor v kritickém stavu a navíc, ve všech výkonových stavech reaktoru musí být záporný i teplotní koeficient reaktivity moderátoru. Výkonové stavy reaktoru se vztahují na základní provozní režim tzv. režim 1. Tato projektová zásada přímo naplňuje legislativní požadavky a je také přímo ověřováno její splnění v části 4.3.2. Požadavek na záporný teplotní koeficient reaktivity moderátoru pro výkonové stavy je uplatněn pro výkony nad 2 % nominální hodnoty. Záporný teplotní koeficient reaktivity znamená, že růstu teploty vyvolává snižování reaktivity a tím i potenciální (nechtěný) růst výkonu reaktoru.

Řízení rozložení výkonu – projektové zásady a kritéria

Projektové zásady z hlediska rozložení výkonu vyžadují, aby alespoň s 95% pravděpodobností na 95% hladině spolehlivosti (s uvážením metodických neurčitostí a technologických tolerancí) byly splněny následující podmínky:

1. Za normálního provozu nesmí být palivo provozováno při větší hladině výkonu, než odpovídá limitu lineárního výkonu proutku q_{llim} (s uvážením závislosti na vyhoření) včetně neurčitosti měření a udržování výkonu reaktoru.
2. Za normálního ani abnormálního provozu včetně maximálního převýšení výkonu nesmí maximum výkonu v palivu způsobit jeho tavení.
3. Palivo nesmí být provozováno s výkonovou distribucí převyšující projektové zásady pro předcházení krizovým podmínkám přestupu tepla za normálního ani abnormálního provozu, včetně případu maximálního převýšení výkonu. Krizové podmínky přestupu tepla znamenají, že na povrchu palivových proutků dochází k takovému zhoršení odvodu tepla, že teplota pokrytí prudce narůstá a mohlo by dojít k jeho porušení.
4. Vsázky paliva a jeho vyhoření budou organizovány tak, aby výkony proutků a vyhoření byly v souladu s předpoklady analýz mechanické integrity palivového proutku, jejíž průkaz je předložen v kap. 4.2. Jako konkrétní projektová kritéria se přitom uplatňují omezení na vyhoření a omezení podle bodu 1 výše.

Maximum rychlosti řízeného zvyšování reaktivity – projektové zásady a kritéria

Z hlediska rychlosti zvyšování reaktivity nebo její celkové hodnoty jsou aplikovány následující projektové zásady nebo kritéria:

1. Rychlost zvyšování reaktivity prostředky působení na reaktivitu nesmí být vyšší než 0,07 βef./s.
2. Pro pracovní skupinu regulačních orgánů s účinností větší než 0,7 βef. musí být zavedení kladné reaktivity po krocích s váhou kroku (souvislého vysouvání) ne větší než 0,3 βef.
3. Maximální účinnost regulačních kazet a maximální rychlost zavádění reaktivity činnými regulačními orgány musí být limitovány tak, aby se zabránilo porušení tlakové hranice chladiva nebo porušení vnitřních částí aktivní zóny v takovém rozsahu, který by zhoršil schopnost chlazení zóny v důsledku vysunutí regulační kazety nebo jejího vystřelení.

βef znamená efektivní podíl zpožděných neutronů, které se neuvolňují přímo ze štěpení, okamžitě (na rozdíl od okamžitých neutronů), ale v důsledku radioaktivních přeměn s příslušnými poločasy rozpadu. Při zavedení reaktivity větší než je βef se stává reaktor kritický na okamžitých neutronech a ovladatelný prakticky jenom jeho přirozenými zpětnými vazbami.

Rezerva na odstavení reaktoru – projektové zásady a kritéria

1. Ve všech provozních režimech je vyžadována minimální rezerva na rychlé odstavení reaktoru, konzistentní s předpoklady bezpečnostních analýz, s postulovaným (předpokládaným) zaseknutím jednotlivé nejúčinnější regulační kazety v úplně vysunuté poloze. Jako projektové kritérium je aplikována hodnota bezpečnostní zásoby podkritičnosti, která musí být nejméně 2 %.
2. Minimální rezerva reaktivity na odstavení reaktoru při překládkách paliva musí být zajišťována odstavnou koncentrací kyseliny borité. Tato hodnota podkritičnosti musí být nejméně 2 %.

Podkritičnost při manipulaci s jaderným palivem a jeho skladování – projektové zásady a kritéria

Při manipulacích s čerstvým i vyhořelým palivem a při jeho skladování musí být zajištěna hodnota multiplikačního faktoru:

- nepřevyšující 0,95 při předpokládaných havarijních situacích (včetně zaplavení vodou),

- nepřevyšující 0,98 v podmínkách optimální moderace.

Stabilita – projektové zásady a kritéria

Vzhledem ke své konstrukci aktivní zóny se v reaktorech VVER440 nevyskytují problémy s xenonovými oscilacemi, nicméně dílčí oscilace nastávají a je nutno prokázat jejich tlumenost.

Dávka rychlých neutronů na nádobu – projektové zásady a kritéria

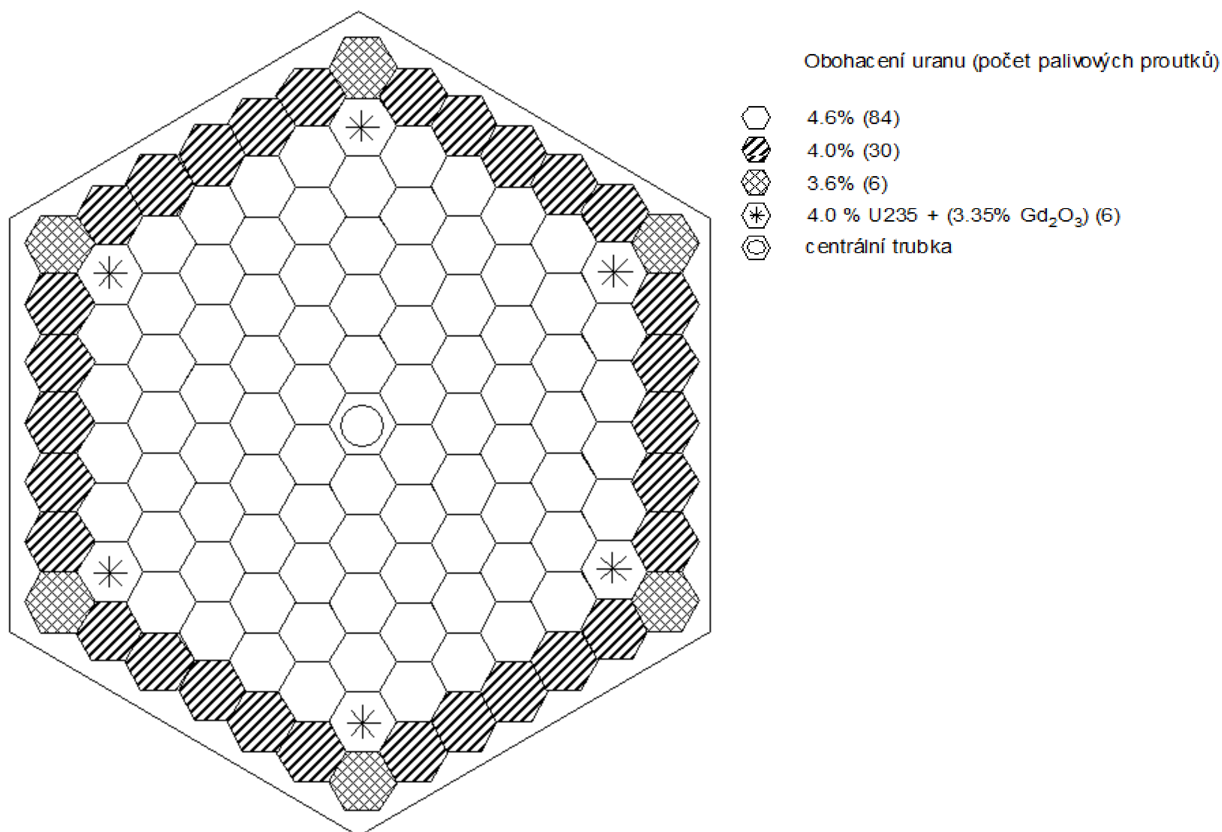
Projektové hodnoty dávek/fluencí rychlých neutronů s energií větší než 0,5 MeV a tomu odpovídající hodnoty přírůstků fluence za 1 vsázku nesmí překročit limitní hodnoty definované pro daný materiál nádoby reaktoru.

4.3.2 Popis jaderných charakteristik

V části 4.3.2 se neprovádí pouze prověrka splnění projektových zásad formulovaných výše v části 4.3.1, ale počítají se i některé charakteristiky nezbytné pro analýzy v dílu 15 (Bezpečnostní rozbory).

Typy palivových kazet

Každá palivová kazeta jinak též nazývaná palivový soubor (PS) obsahuje šestiúhelníkové uskupení palivových proutků se 7 proutky na straně a je celkově tvořena 126 palivovými proutky a jedním centrálním měřícím kanálem. Základní rozlišení PS je v průměrném obohacení paliva a v přítomnosti vyhořívajících absorbátorů (zde Gd_2O_3). Typické rozmístění proutků různého obohacení (profilování) a proutků s Gd znázorňuje Obr. 47..



Obr. 47. Schéma profilování (rozložení obohacení po palivových proutcích) v kazetě s průměrným obohacením 4,38 % 235U

Základní výpočty neutronově-fyzikálních dat byly provedeny makrokódem MOBY-DICK (viz část 4.3.3) s konkrétním postupem výpočtů pro jednotlivé skupiny sledovaných charakteristik aktivní zóny. Výchozí archiv fyzikálních parametrů pro případné další použití byl získán poproutkovými výpočty v 42 bodech po výšce pro prvních 26 palivových vsázek, které byly dále doplněny podle aktuálních specifikací pro 27. až 29. palivovou vsázku. Proces postupného nahrazování předchozího paliva novým, kterému je věnována aktuální verze kap. 4.3, je sledován na deseti palivových vsázkách (od 30. do 39.), přičemž vsázka 30. se nazývá první přechodovou vsázkou a vsázky 37. až 39. vsázkami rovnovážnými (tedy vsázkami, kdy se v AZ nachází stejný typ PS, které se liší pouze dobou pobytu strávenou v AZ a s tím souvisejícím vyhořením).

Níže je popsáno plnění projektových zásad, formulovaných výše v části 4.3.1 pro odpovídající skupiny fyzikálních charakteristik.

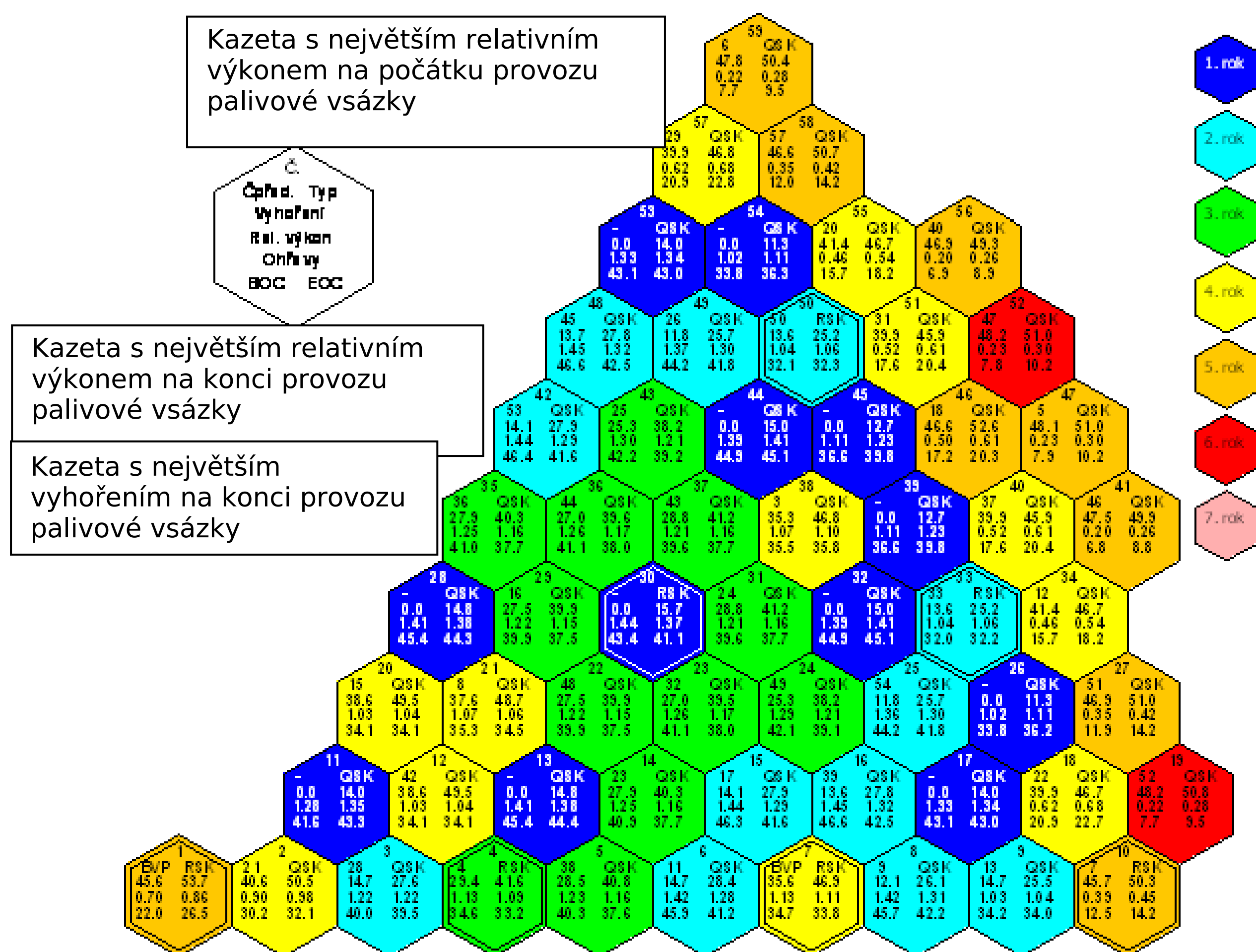
Rozložení výkonu

Z projektových zásad části 4.3.1, konkretizovaných omezeními lineárního výkonu a výkonu palivového proutku, se vychází jak ve fázi návrhu palivových vsázek, tak za provozu reaktoru. Tato omezení musí být dodržena včetně neurčitosti stanovení příslušných parametrů. To pak vede k určení výpočtových limitů aplikovaných při návrhu palivových vsázek a provozních limitů kontrolovaných obsluhou pomocí údajů systémů monitorujících reaktor za provozu. Výpočtově jsou sledovány relativní výkony palivových kazet, relativní výkony palivových proutků a lokální lineární výkony palivových proutků. Rozložení výkonu po kazetách, palivových proutcích i po výšce aktivní zóny se mění v průběhu provozu vsázky v důsledku změny izotopického složení paliva při jeho vyhořívání. Níže uvedené ilustrativní výsledky jsou získány v 60° symetrii aktivní zóny.

Rozložení výkonu po palivových kazetách

Na Obr. 48. jsou znázorněny charakteristiky typické palivové vsázky na počátku a na konci jejího provozu. Při nominálním výkonu reaktoru 1444 MW je průměrný výkon

palivové kazety při jejich počtu 340 v aktivní zóně 4,14 MW (=1444/349). V případě Obr. 48. je např. pro počátek provozu vsázky maximální relativní výkon kazety 1,45, zatímco minimum v okrajové kazetě (č. 41 nebo 56) je 0,2. V aktivní zóně se tak v tomto případě nacházejí kazety s výkonem od 0,8 MW do 6,0 MW.



Obr. 48. Základní charakteristiky typické palivové vsázky: vyhoření kazet v MWd/kgU (udává množství energie odvedené z jednoho kilogramu uranu dané kazety za dobu jejího pobytu v aktivní zóně), relativní výkony kazet (vztažené k průměrnému výkonu kazety v celé aktivní zóně) a ohřevy chladiva (°C) na počátku (BOC) a na konci (EOC) provozu typické palivové vsázky

Samotné výkony kazet nejsou přímo limitující, limitující jsou výkony palivových proutků a lokální lineární výkony. Pro stejnou vsázku jako na Obr. 48. jsou na Obr. 49. znázorněna maxima relativních výkonů palivových proutků v jednotlivých kazetách aktivní zóny.

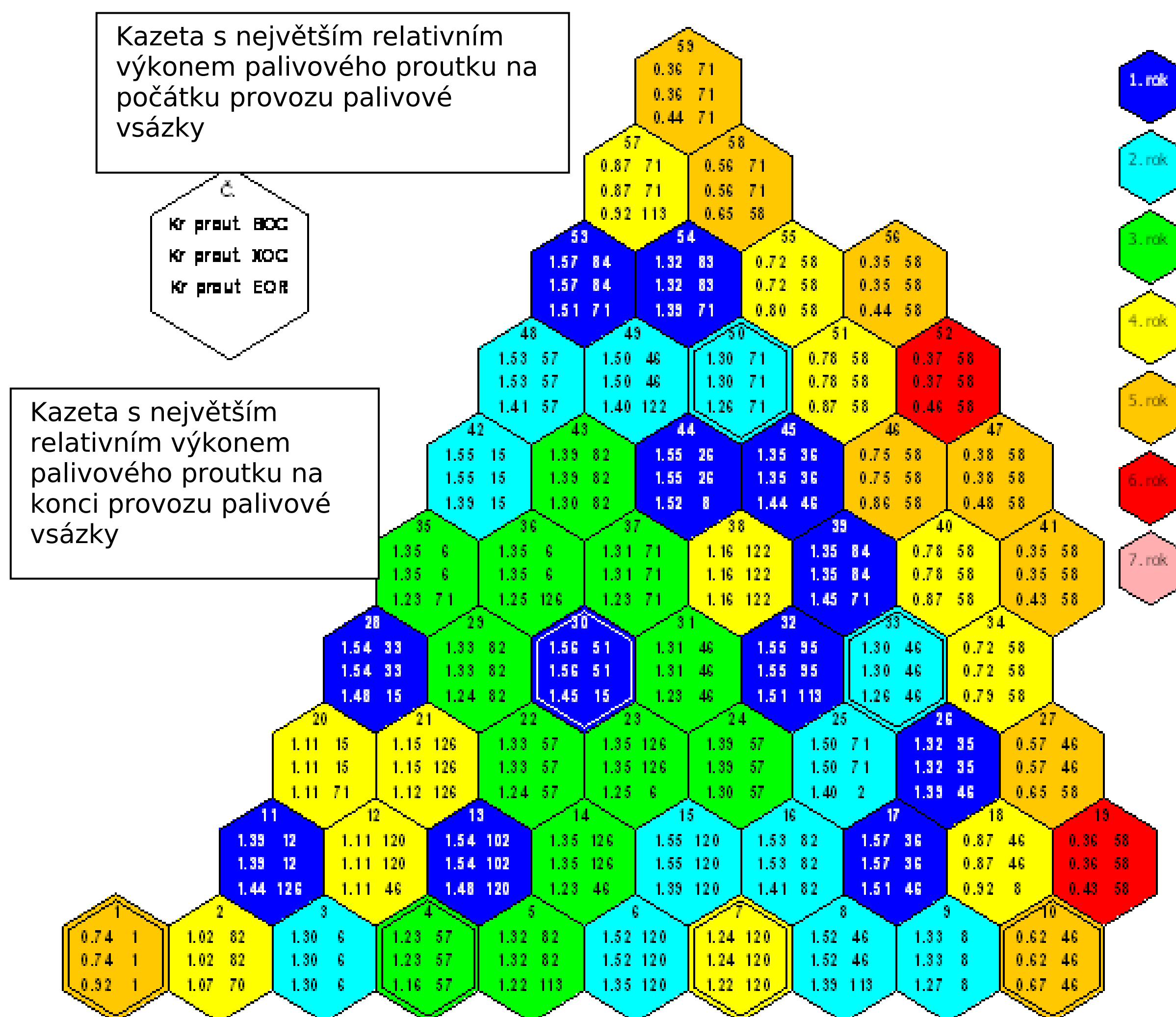
Rozložení výkonu po palivových proutcích

Relativní výkony palivových proutků (Obr. 49.) jsou vztaženy k průměrnému výkonu palivového proutku v celé aktivní zóně. Při nominálním výkonu reaktoru 1444 000 kW je průměrný výkon palivového proutku při jejich počtu 349x126 v aktivní zóně 32,8 kW (=1444000/(349x126)). Podle Obr. 49. je získané maximum relativního výkonu palivového proutku v aktivní zóně na počátku provozu vsázky 1,57, zatímco nejméně zatížený palivový proutek s relativním výkonem 0,35 se nachází v okrajové kazetě č. 41

nebo 56. Výkony palivových proutků v aktivní zóně jsou tak v tomto případě od 11,5 do 51,5 kW.

Axiální rozložení výkonu (po výšce aktivní zóny)

Jaderné efekty, které způsobí změny ve tvaru axiálního rozložení výkonu, zahrnují hustotu moderátoru, teplotu paliva (Dopplerův efekt), vyhoření a prostorové efekty xenonu. Efekt hustoty moderátoru je vázán na teplotní koeficient reaktivity a tím je též ovlivňován koncentrací kyseliny borité. Vlastní regulace axiální distribuce výkonu se dá provádět kombinací zasunutí pracovní skupiny regulačních kazet a změnou koncentrace kyseliny borité v chladivu reaktoru.



Obr. 49. Maxima relativních výkonů proutků (výkony proutků vztažené k průměrnému výkonu proutku v celé aktivní zóně) v jednotlivých kazetách ve významných okamžicích provozu typické palivové vsázky

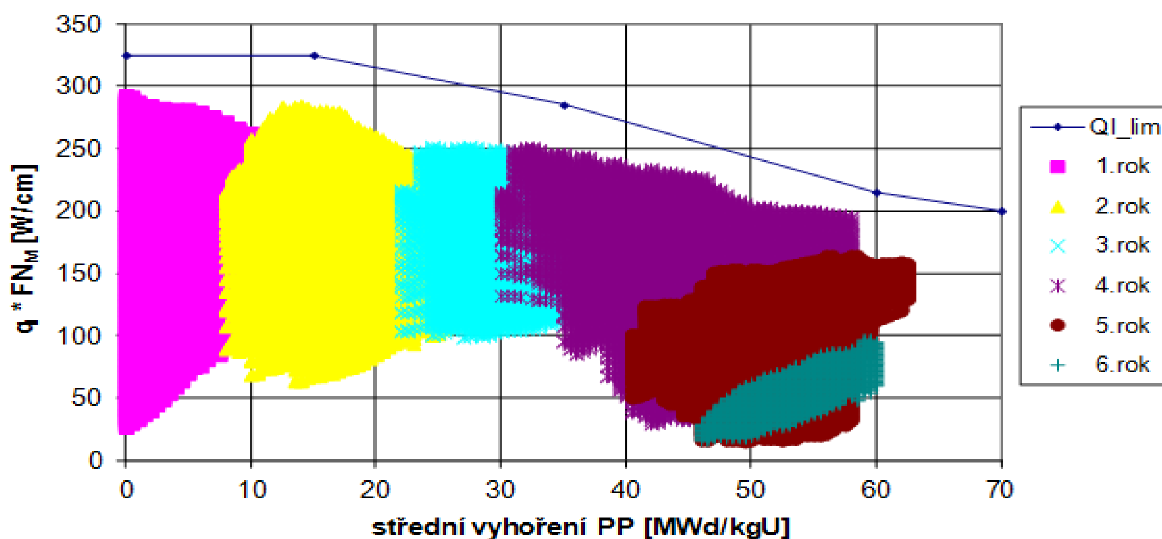
Maxima lokálního lineárního výkonu

Axiální rozložení výkonu v aktivní zóně jako celku se pak odráží také v lokální axiální distribuci po palivových proutcích, pro kterou je charakteristickou veličinou lokální lineární výkon a jeho maxima.

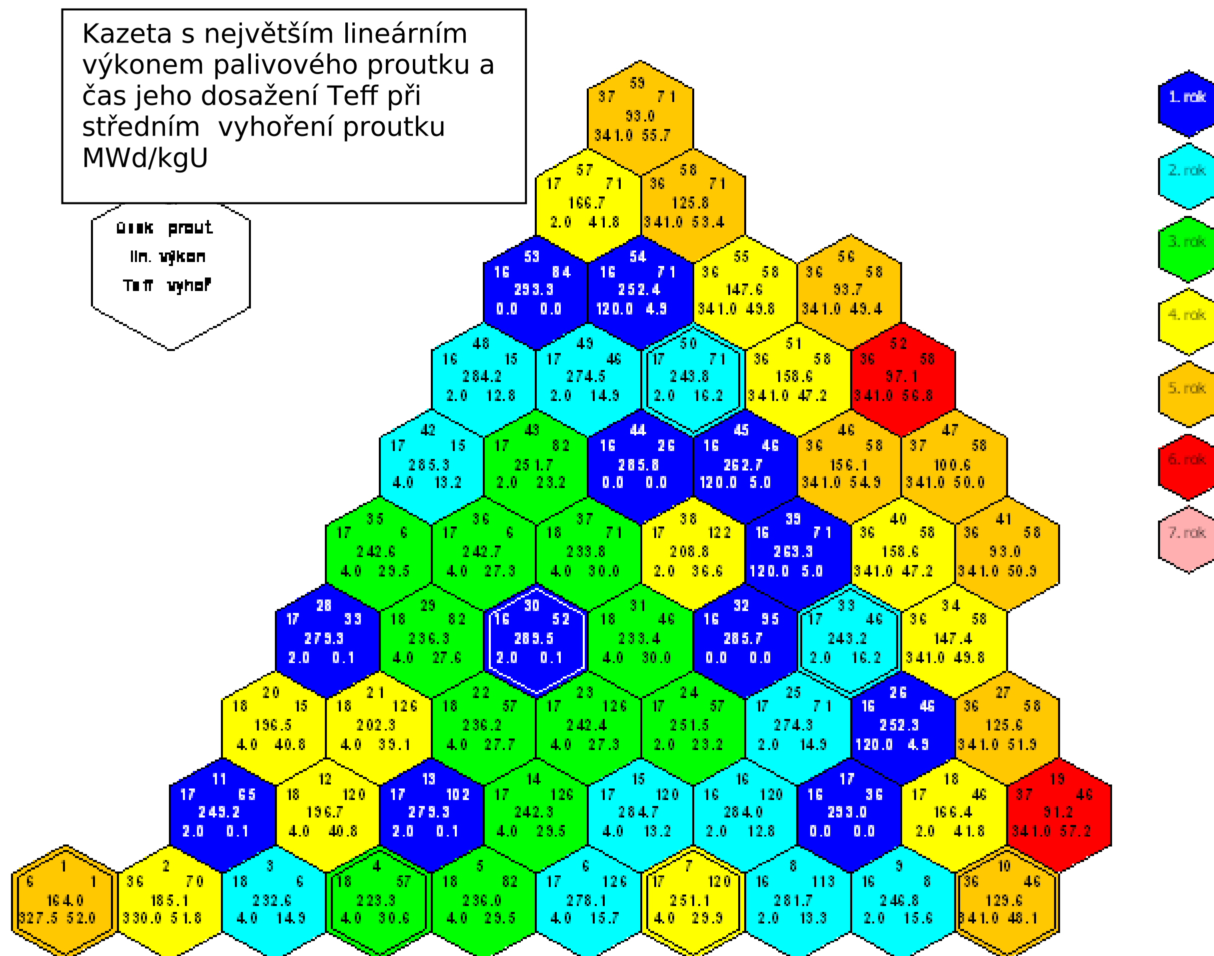
Hodnoty lokálních lineárních výkonů palivových proutků, násobených faktorem neurčitosti, jsou pro stejnou typickou palivovou vsázku jako údaje na Obr. 48., Obr. 49.,

graficky zobrazeny ve vztahu k limitu ql_{lim} na Obr. 50.. Tyto údaje ukazují, že lineární výkony mají vesměs dostatečnou rezervu do dovolené hodnoty.

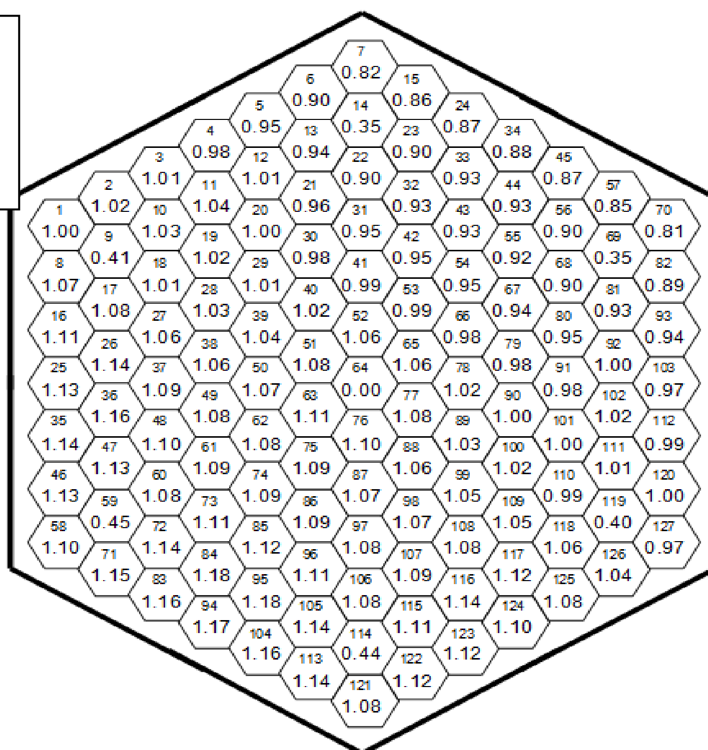
Na časové chování lineárních výkonů proutků lze usuzovat přímo z tvaru množin – oblastí paliva určitého stáří. Vzhledem k maximu axiálního rozložení výkonu v dolní části aktivní zóny (důsledek záporného teplotního koeficientu reaktivity a zasunutí pracovní skupiny regulačních kazet) tvoří horní hranici těchto množin maxima lineárních výkonů ze spodní poloviny zóny a spodní hranice množin je tvořena lineárními výkony z horní hranice zóny. Chování těchto hranic množin je dáno obecným procesem vyhoření a redistribuce výkonů v zóně a to tak, že s vyhořením maxima klesají (horní hranice množin) a minima na okrajích zóny spíše rostou (spodní hranice množin). Lze konstatovat, že chování lineárního výkonu v sledovaných vsázkách je rozumné a stabilní a během normálního provozu je zabezpečeno omezení na lineární výkon s dostatečnou rezervou.



Obr. 50. Hodnoty lokálních lineárních výkonů proutků násobených faktorem neurčitosti (ql*FN) v závislosti na středním vyhoření proutku pro typickou palivovou vsázku (barevně rozlišeny kazety podle délky pobytu v aktivní zóně) – kontrola splnění omezení limitní křivkou Ql_lim



Obr. 51. Maximální lineární výkon v axiálním úseku (Ql [W/cm]) vynásobený faktorem neurčitosti podle typu kazety; pozice maxima, odpovídající střední vyhoření v proutku ([MWd/kgU]) a čas dosažení maxima Teff pro typickou palivovou vsázku



Obr. 52. Poproutkové rozložení relativních výkonů v kazetě s maximální hodnotou lineárního výkonu proutku v typické palivové vsázce

Detailní relativní radiální distribuce lineárních výkonu proutků (Kk) v axiálním řezu s největším lineárním výkonem jsou ilustrovány pro stejnou typickou palivovou vsázku jako výše v Obr. 48. až Obr. 51.. Ze získaných výsledků pro různé vsázky vyplynulo, že koeficient nerovnoměrnosti Kk se pohybuje u analyzovaných vsázek v rozsahu od 1,07 až do 1,19. Samozřejmě hodnoty nevyrovnání výkonu v krajních kazetách mohou být i vyšší, ale tyto nejsou rozhodující v důsledku nízkého výkonu těchto palivových kazet.

V rozsahu provedených analýz normálního provozu bylo potvrzeno splnění projektových zásad pro Řízení rozložení výkonu (část 4.3.1) s uvážením nepřesností výpočtů a tolerancí a rezervy na nepřesnost měření a udržování výkonu reaktoru.

Koeficienty reaktivity a kinetické parametry

Koeficienty reaktivity jsou sledovány jak z hlediska projektových zásad (část 4.3.1), tak z hlediska konkrétních rozsahů hodnot pro uplatnění v bezpečnostních rozborech pro díl 15. Na kinetické parametry nejsou kladeny specifické projektové požadavky, tvoří však spolu s koeficienty reaktivity důležitou část vstupních dat pro bezpečnostní rozbory.

Obdržené hodnoty koeficientů reaktivity a kinetických parametrů včetně jejich závislostí ukazují, že po přechodu na minimální kontrolovaný výkon, při najíždění na výkon, i při provozu na výkonu, splňují koeficienty reaktivity projektové zásady dle části 4.3.1 a zabezpečují tak inherentní regulační vlastnosti aktivní zóny (záporné zpětné vazby).

Požadavky na řízení

Z hlediska projektových zásad jsou klíčovými požadavky na řízení schopnost spolehlivého odstavení reaktoru a zajištění požadované rezervy na odstavení reaktoru (dosažitelnost požadované minimální podkritičnosti) v souladu s částí 4.3.1 a zajištění požadovaných zpětných vazeb v souladu s odpovídajícími projektovými zásadami části 4.3.1.

Funkčnost z hlediska dodržení projektových zásad části 4.3.1 mechanického (HRK) a chemického (H_3BO_3) systému řízení reaktivity byla prověřena pro spouštění reaktoru a najíždění na výkon. Požadavky na odstavnou koncentraci kyseliny borité se od požadavků dosavadních vsázek neliší a jejich splnění je v souladu s odpovídajícími projektovými zásadami části 4.3.1. Přítomnost vyhořívajícího absorbátoru v palivu snižuje požadavky na kompenzaci přebytku reaktivity a nezvyšuje nároky na rychlost této kompenzace.

Kartogram rozmístění palivových kazet a jejich účinnost

Klíčové projektové zásady/kritéria pro regulační orgány se týkají omezení rychlosti zvyšování reaktivity a dostatečné rezervy na odstavení reaktoru, reprezentované bezpečnostní zásobou podkritičnosti. Povolené polohy HRK (zasunutí do aktivní zóny) jsou určovány prioritně z hlediska splnění podmínky bezpečnostní zásoby podkritičnosti a z hlediska distribuce výkonu v aktivní zóně (splnění limitu na lineární výkon ql_{lim}) (viz část 4.3.1). Pro následné analýzy v dílu 15 (bezpečnostní rozbory) je důležitou vstupní informací účinnost vystřelené jedné regulační kazety za podmínek kritického stavu reaktoru (s nulovým nebo nenulovým výkonem) při nejnižší přípustné poloze HRK v aktivní zóně.

Podkritičnost při výměně paliva a kritičnost palivových kazet

Při přepravě a skladování čerstvého paliva, při výměnách paliva v reaktoru a při přepravě a skladování vyhořelého paliva musí být zajištěna dostatečná podkritičnost, jak je specifikováno příslušnými projektovými zásadami/kritérii části 4.3.1.

Z předložených výsledků plyne, že při skladování a transportu paliva v prostoru elektrárny je zajištěna požadovaná podkritičnost palivových kazet s čerstvým palivem bez gadolinia i s gadoliniem pro všechny posuzované prostory s provozní podmínkou pro mříž původního (projektového) bazénu vyhořelého paliva, kde je požadována minimální koncentrace 2,2 g/kg kyseliny borité.

Přechodové procesy a stabilita

Ve velkých aktivních zónách reaktorů se mohou xenonem vyvolané oscilace vyskytnout bez odpovídající změny v celkovém výkonu reaktoru. Oscilace může být způsobená výkonovým posunem v aktivní zóně, který nastává rychle v porovnání s časovými konstantami jódu a xenonu.

V důsledku záporného výkonového koeficientu reaktivity jsou zóny VVER 440 inherentně stabilní vůči oscilacím celkového výkonu a ochrana proti jeho možným nestabilitám je zajištěna. Tedy ochrana proti nestabilitám je zde chápána jako ochrana proti axiálním oscilacím výkonu. Bylo prokázáno, že v případě aktivní zóny VVER 440, i když nastávají xenonové oscilace, jsou s vysokým tlumením, takže aktivní zóna splňuje odpovídající požadavek/projektovou zásadu dle části 4.3.1.

Ozáření nádoby reaktoru

U všech analyzovaných vsázek s gadoliniovým palivem byly splněny odpovídající projektové požadavky dle části 4.3.1. Konkrétně, pro žádnou z analyzovaných vsázek nebylo dosaženo ani středního přírůstku fluence (zajišťující minimální životnost 40 let) i přesto, že délka palivových vsázek je prodloužená.

4.3.3 Analytické metody

Výpočty neutronově-fyzikálních charakteristik, jejichž výsledky jsou prezentovány v předchozí části 4.3.2, sestávají z návazných procesů, kde třemi hlavními jsou:

1. Výpočty teploty paliva (přijat model třívrstvého palivového proutku, zanedbává se vedení tepla podél osy palivového proutku, předpokládá se konstantní vývin tepla po poloměru palivového proutku, řeší se zjednodušená jednorozměrná rovnice vedení tepla po poloměru palivového proutku).

2. Tvorba makroskopických grupových konstant (dvougrupové difúzní konstanty kazet pro „hrubosíťové přiblížení„ či buněk pro „jemnosíťové přiblížení„, jsou

generovány programem WIMS9a, což je komplexní modulární systém, který řeší více úloh z oblasti reaktorové fyziky; v aplikaci přípravy dvougrupových difúzních konstant se využívá jeho dvourozměrný mnohagrupový transportní modul).

3. Prostorově závislé třírozměrné výpočty zóny. Výpočty neutronově-fyzikálních charakteristik byly získány s použitím modulárního systému MOBY-DICK, který prošel hodnotící komisí dle příslušné směrnice SÚJB a získal tak oprávnění úřadu k použití pro výpočty pro bezpečnostní zprávu. Program je formálně rozdělen na dva bloky:

- pro neutronově-fyzikální analýzy: jeho základ tvoří moduly pro diferenční řešení vícegrupové soustavy difúzních rovnic: moduly umožňující dvou- a třírozměrné výpočty na dvou typech sítě:

- trojúhelníkové (hrubosíťové řešení zóny s rozdělením palivových kazet na daný počet rovnostranných trojúhelníků),
- hexagonální (poproutkové řešení zóny v regulární síti pravidelných šestiúhelníků);

- pro termohydraulické analýzy.

Získané zkušenosti z konfrontace výpočtů s údaji ze spouštění a provozu palivových vsázek VVER svědčí o tom, že nepřesnosti výpočtových předpovědí neutronově-fyzikálních charakteristik palivových vsázek typických pro reaktory VVER 440 s použitím uvedeného systému programů nepřevyšují pro:

počáteční kritickou koncentraci bóru v moderátoru	5 %,
účinnost HRK	10 %,
teplotní koeficient reaktivity	3.10^{-5} °C^{-1},
nerovnoměrnosti ve výkonu kazet	5 %,
nerovnoměrnosti ve výkonu palivových proutků v kazetách	3 %,
délku provozu palivových vsázek	3 %.

4.3.4 Nezávislé analýzy dodavatele paliva

Dokumentace dodavatele paliva obsahuje průkaz splnění projektových zásad pro předpokládané projektové vsázky s palivovými kazetami o průměrném obohacení 4,38 % 235U a pro projektové vsázky s palivovými kazetami o průměrném obohacení 4,76 % 235U.

Strategie palivových vsázek je založená na zajištění délky provozu vsázek kolem 340 dní s uvážením „stretch outu“ na výkonu a teplotě (udržování kritického stavu reaktoru postupným snižováním výkonu a teploty chladiva) ke konci provozu palivové vsázky. Doba pobytu pracovních kazet i palivových částí HRK v aktivní zóně je max. 6 vsázek, doba pobytu palivových částí HRK v pracovní šesté skupině jsou max. 3 palivové vsázky, v periferní pak 2 vsázky.

Pro fyzikální charakteristiky byl dodavatelem použit komplex programů BIPR-7A, PERMAK-A, TVS-A, který poskytuje pro níže uvedené parametry odchylky, nepřesahující relativní hodnoty:

- teplotní koeficient reaktivity paliva,	15 %
- výkonový koeficient reaktivity,	12 %
- výkonový efekt reaktivity,	10 %
- účinnost pracovní skupiny HRK,	10 %
- účinnost jedné HRK pracovní skupiny,	15 %
- účinnost ochrany reaktoru (bez nejúčinnější zaseknuté HRK),	10 %
- účinnost rozpustného absorbéru,	3 %
- efektivní podíl zpožděných neutronů,	7 %
- střední doba života okamžitých neutronů,	5 %
- efekt otravy Xe-135,	5 %
- délka provozu palivové vsázky,	3 %

4.4 Tepelné a hydraulické charakteristiky

Základním cílem tepelného a hydraulického návrhu aktivní zóny reaktoru je zajištění odpovídajícího odvodu tepla z aktivní zóny s uvážením jeho prostorového rozložení. Odpovídající odvod tepla je vyžadován pro normální provoz, abnormální provoz a havarijní podmínky a je zajišťován chladicím systémem reaktoru a/nebo havarijním systémem chlazení aktivní zóny.

4.4.1 Koncepce

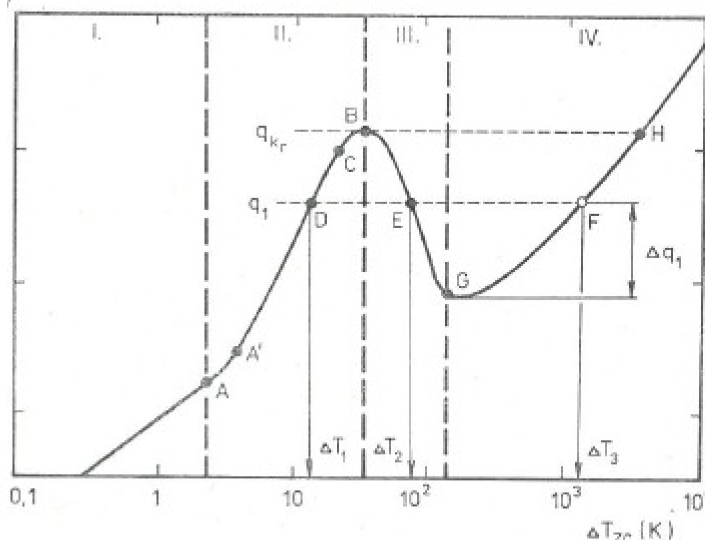
Hlavní zásady termohydraulického návrhu aktivní zóny odpovídají projektu reaktoru VVER-440, typ V-213. Vychází se přitom z obecných legislativních požadavků platných v zemi původu dodavatele paliva a z legislativy ČR. Jak ruská, tak i česká legislativní dokumentace obsahuje požadavky, které se týkají přímo aktivní zóny reaktoru, přičemž některé mají vztah k termohydraulickým charakteristikám buď přímo, nebo zprostředkovaně přes požadavky na zachování integrity palivových proutků. Splnění legislativních požadavků je zajišťováno prostřednictvím projektových zásad, které mohou být v některých případech kvantifikovány jako projektová kritéria nebo přímo jako limitní parametry. V návaznosti na projektové zásady a kritéria jsou pak popsány přístupy k sestavení výpočtových variant a komponenty primárního a sekundárního okruhu.

Projektové zásady/kritéria pro předcházení krizovým podmínkám přestupu tepla

Požaduje se, aby krizové podmínky přestupu tepla nenastaly v aktivní zóně pro normální ani abnormální provoz alespoň s 95%-ní pravděpodobností na 95%-ní hladině významnosti. Fyzikálně to znamená, že se tím předchází stavu přechodu odvodu tepla z oblasti s bublinkovým varem do oblasti s blánovým varem (viz Obr. 53.). Ověření výše uvedené projektové zásady je založeno na použití experimentálně podložených korelací pro výpočet kritické hustoty tepelného toku. Pro získání její nejmenší hodnoty se uplatňují konzervativní předpoklady, přičemž nepřesnosti ve vstupních datech jsou uvažovány tak, aby kritickou hustotu tepelného toku minimalizovaly.

Oblast I - podchlazená konvekce
Oblast II – bublinkový var
Oblast III – přechodový blánový var
Oblast IV – ustálený blánový var

Pozn.: V analýzách se zpravidla vyhodnocuje tzv. kritický tepelný poměr, což je poměr kritické a skutečné hustoty tepelného toku v daném místě hodnoceného palivového proutku



Obr. 53. Znázornění závislosti mezi hustotou předávaného tepelného toku q a teplotním rozdílem ΔTZC mezi stěnou a chladicí kapalinou

Projektové zásady/kritéria pro teplotu paliva

Požaduje se, aby maximum lineárního výkonu palivových proutků nevedlo při normálním ani abnormálním provozu k dosažení teploty tavení paliva v aktivní zóně alespoň s 95% pravděpodobností na 95% hladině významnosti. Pro čerstvé palivo se uvažuje teplota tavení UO_2 2840 °C, která se snižuje s vyhořením, a také s přítomností

příměsi s Gd_2O_3 u příslušných proutků. Tak může teplota tavení paliva klesnout až k ~ 2550 °C.

Projektové zásady/kritéria pro průtok chladiva aktivní zónou

Pro tepelný a hydraulický návrh aktivní zóny je požadováno, aby byl uvážen konzervativní průtok chladiva svazkem palivových proutků. Z hlediska tepelných limitů aktivní zóny, zejména nedosažení krize varu, je pro odvod tepla z palivových proutků konzervativní minimální průtok chladiva. Proto se předpokládá minimální projektový průtok chladiva reaktorem při 6 smyčkách v provozu 40 000 m^3/h

Projektové zásady/kritéria pro hydrodynamickou stabilitu

Normální ani abnormální provoz nesmí vést k hydrodynamickým nestabilitám. Konstrukce chladicího okruhu VVER 440 a hydraulické charakteristiky jeho jednotlivých komponent jsou takové, že vznik pulsací v celém okruhu je ve stacionárních provozních režimech vyloučen. Dosahuje se toho tím, že chladivo je nedohřáté do teploty sytosti v celém chladicím traktu a hydraulické charakteristiky okruhu jsou takové, že závislost tlakových ztrát na průtoku má monotónní charakter.

Vymezení platnosti termohydraulického návrhu

Pro splnění základního požadavku na spolehlivý odvod tepla z aktivní zóny musí tepelné a hydraulické charakteristiky respektovat např. následující základní omezení:

- Průtok chladiva přes reaktor při 6 pracujících smyčkách nesmí být menší než minimální projektový průtok (40 000 m^3/h) a větší než maximální projektový průtok (43 500 m^3/h).
- Střední teplota chladiva na vstupu do reaktoru musí být v rozsahu 265 ÷ 270 °C.
- Maximální teplota chladiva na výstupu z palivové kazety za normálního provozu: 318 °C.
- Střední výpočtová hodnota teploty chladiva na výstupu z aktivní zóny musí být v rozsahu 293÷302 °C.
- Maximální provozní výkon palivového proutku: 59,0 kW
- Maximální lineární výkon palivového proutku platný pro všechny typy paliva je 32,5 kW/m.
- Maximální provozní výkon pracovní kazety a palivové části HRK pro účely projektování palivových vsázek: 6,76 MW.

Další omezení jsou respektována buď přímo, nebo prostřednictvím odvozených parametrů, kterými jsou dovolené projektové koeficienty nerovnoměrnosti v rozložení výkonu.

Přístup k řešení, rozdělení výpočtových variant a jejich označení

Výpočty tepelných a hydraulických charakteristik byly realizovány v návaznosti na výpočty neutronově-fyzikálních charakteristik. Vyhodnocení tepelných a hydraulických charakteristik AZ a systému chlazení reaktoru (I.O a II.O) je provedeno formou výpočtových analýz vybraných stacionárních stavů bloku. Specifikace jednotlivých výpočtových variant je zadána s ohledem na následující základní parametry provozu bloku:

- výkon bloku, resp. tepelný výkon AZ reaktoru,
- počet pracujících HCČ a technologický stav HCS (otevřené či uzavřené hlavní uzavírací armatury - HUA),
- počet pracujících turbogenerátorů (TG),
- palivová vsázka,
- fáze vyhoření vsázky (počátek, konec).

Uvedené parametry charakterizují globální termodynamický stav bloku. Při analýzách je řešen celkový termohydraulický stav primárního okruhu (I.O) včetně aktivní zóny (AZ) a termohydraulika sekundárního okruhu (II.O).

Komponenty primárního okruhu

Komponentami primárního okruhu (I.O) se pro účely kapitoly 4.4 rozumí vlastní reaktor (R) a připojené hlavní cirkulační smyčky (HCS) s parogenerátory (PG) a hlavními

cirkulačními čerpadly (HCČ). Ostatní příslušenství I.O se při výpočtech stacionárních stavů neuvažuje, kompenzátor objemu (KO) je zastoupen určením tlaku chladiva na výstupu z reaktoru. Výpočty jsou provedeny programem STAMOD440, pro který je reaktor členěn na vstupní část (sestupná šachta a spodní směšovací komora), aktivní zónu a výstupní část (horní směšovací komora). Smyčky pozůstávají z horké větve, PG, a chladné větve s HCČ.

Komponenty sekundárního okruhu

Hlavní komponenty sekundárního okruhu tvoří 6 PG, 2 TG a příslušné potrubní sítě. Důležitými parametry sekundárního okruhu pak jsou:

Tlak páry v hlavním parním kolektoru (HPK)	4,57	MPa abs.
Vlhkost vyráběné páry	0,2	%
Kontinuální odluh a odkal v PG	0,5	%
Teplota chladicí vody kondenzátorů	20	°C

4.4.2 Popis tepelných a hydraulických charakteristik aktivní zóny

Distribuce výkonů, průtoků a výstupních teplot chladiva v aktivní zóně reaktoru

Úvodní výpočty byly provedeny programem MOBY-DICK (viz kap. 4.3), určeným pro výpočty neutronově-fyzikálních a termohydraulických charakteristik reaktorů VVER s implementovaným programovým modulem THBLOK, řešícím termohydrauliku. Programem MOBY-DICK byl počítán proces vyhořívání pro uvažované palivové vsázky, termohydraulické charakteristiky byly sledovány pomocí modulu THBLOK pro vybrané časy vyhoření, pro přechodové vsázky až do rovnovážné a pro varianty se 6 až 3 pracujícími smyčkami.

Pro možnost provedení separátních výpočtů programem THBLOK a subkanálovým kódem CALOPEA, jsou z výsledků makrokódu MOBYDICK použity axiální a radiální (poproutkové) distribuce výkonu v kazetách, rozložení vyhoření paliva a lineárního výkonu v AZ. Údaje o průtoku chladiva reaktorem a tlaku na výstupu z AZ, odpovídající zadanému režimu jaderného bloku, jsou získány z výsledků programu STAMOD440.

Z výsledků pro všechny uvažované palivové vsázky plyne, že nejnižších hodnot rezervy do krize přestupu tepla je v průběhu vyhořívání u všech výpočtových variant dosahováno v okamžiku konce provozu vsázky při úplném vysunutí regulačních kazet z aktivní zóny.

Výstupní teploty chladiva a minimum kritického tepelného poměru v nejzatíženějších subkanálech

Pro analyzované varianty byly provedeny výpočty subkanálovým kódem CALOPEA. Vstupní data (střední hustota tepelného toku v kazetě [W/m^2] a hustota hmotnostního toku kazetou [$kg/s/m^2$]) pro výpočet subkanálovým kódem CALOPEA byly vytvořeny v programu THBLOK. Ze získaných grafických průběhů plyne větší konzervatizmus výstupních teplot ze subkanálů programu THBLOK. Současně z nich plyne vztah mezi korelací pro krizi varu z výpočtu izolovaného kanálu programem THBLOK a korelací pro krizi varu ze subkanálové analýzy subkanálovým kódem CALOPEA.

Výstupní teploty chladiva a minima kritického tepelného poměru pro konzervativní axiální distribuce výkonu

Vstupní data pro bezpečnostní analýzy obsahují také doporučené konzervativní tvarové funkce axiálních distribucí výkonu, které byly ověřovány také prostřednictvím programu THBLOK a subkanálového kódu CALOPEA v prostředí nejzatíženějších palivových kazet analyzovaných palivových vsázek. Pro zvolenou variantu výpočtu byla vybrána nejzatíženější kazeta, tj. kazeta s minimální hodnotou kritického tepelného poměru.

Bylo ověřeno, že konzervativní axiální distribuce dávají nižší hodnoty kritického tepelného poměru v porovnání s výpočty provedenými se skutečnými axiálními

distribucemi, získanými z výsledků makrokódu MOBYDICK, resp. programu THBLOK. Z průběhů minim kritického tepelného poměru z nejzatíženějších subkanálů přes spektrum řešených výpočtových variant je též zřejmé, že konzervativní axiální distribuce výkonu vedou k výraznějšímu rozlišení počátků a konců provozu vsázek oproti skutečným axiálním distribucím.

4.4.3 Popis tepelných a hydraulických charakteristik systému chlazení reaktoru

Chlazení reaktoru obstarává 6 hlavních cirkulačních smyček (HCS) primárního okruhu (I.O), kterými se tepelný výkon produkovaný v aktivní zóně (AZ) vyvádí do parogenerátorů (PG), kde se spotřebovává na výrobu páry pro turbogenerátory (TG).

Celkové řešení termohydrauliky I.O a II.O bylo realizováno programem STAMOD440, který provádí stacionární termohydraulický výpočet primárního okruhu, vnitřních částí reaktoru, parogenerátorů a sekundárního okruhu zahrnujícího hlavní parní kolektor (HPK), parovody a turbínu s kondenzátorem a regenerační soustavou.

Výsledky výpočtů programem STAMOD440 pokrývají:

- Rozdělení tlaků, teplot, průtoků a výkonů v jednotlivých smyčkách primárního okruhu
- Rozdělení tlaků, teplot a průtoků v reaktoru a jeho vnitřních částech
- Rozdělení tlaků, teplot a průtoků v parogenerátorech a turbíně

4.4.4 Hodnocení

Kritický tepelný tok

Hodnocení kritického tepelného toku bylo provedeno korelací pro izolovaný kanál v modulu THBLOK a korelací pro subkanálovou analýzu v programu CALOPEA se stanovenými korelačními limity. Výsledky výpočtů izolovaného subkanálu modulem THBLOK i subkanálové analýzy programem CALOPEA, provedené pro sledované režimy s nominálním i zvýšeným výkonem, s nominálním i sníženým průtokem přes reaktor, prokázaly, že ve všech sledovaných režimech se minimum kritického tepelného poměru nacházelo s dostatečnou rezervou nad hodnotou korelačního limitu, který zaručuje, že s pravděpodobností 95 % nedojde na intervalu spolehlivosti 95 % ke krizi varu. Limitu nebylo dosaženo při žádném z výpočtů horkého kanálu ani při výpočtech vycházejících z konzervativních axiálních distribucí výkonu, určených pro konzervativní bezpečnostní rozbory.

Hydraulika aktivní zóny

Tlakové ztráty v aktivní zóně reaktoru s konkretizovaným hodnotami hydraulických odporů byly počítány pro odporové schéma vnitřních částí reaktoru, prověřené kromě jiných případů také během měření hydraulických charakteristik vnitřních částí reaktoru i celého primárního okruhu při předprovozních a komplexních zkouškách před spouštěním jednotlivých bloků typu VVER-440 v Jaslovských Bohunicích a Dukovanech. Na základě výsledků výpočtů byly pro počítané varianty vyhodnoceny rezervy do teploty sytosti na výstupu z reaktoru a na základě výsledků z kódu CALOPEA pak dvoufázovost proudění.

Vliv rozložení výkonu

Distribuce výkonu jsou závislé na druhu a na vyhoření zavážených kazet do AZ a mění se s vyhoříváním paliva během palivové vsázky a s polohou regulačních kazet. Rozložení výkonu po kazetách ovlivňuje především výstupní teploty chladiva z jednotlivých kazet, rozložení výkonu po jednotlivých palivových proutcích ovlivňuje především výstupní teplotu chladiva ze subkanálů. Axiální rozložení výkonu (po výšce palivových proutků) významně závisí na poloze regulačních kazet.

Tepelná odezva aktivní zóny

Dle projektových zásad části 4.4.1 musí být zabráněno vzniku krizových podmínek přestupu tepla a tavení paliva za normálního i abnormálního provozu. K tomu slouží řídicí, limitační a ochranné systémy (viz díl 7 Instrumentace a řízení). Odezvě aktivní zóny na události abnormálního provozu, včetně působení ochranných systémů, jsou věnovány příslušné kapitoly v dílu 15 (Bezpečnostní rozbory).

Analytické metody

K získání hlavních statických termohydraulických parametrů jaderného bloku s reaktorem typu VVER-440 typV-213 v nominálním režimu i v režimech nenominálních je používán výpočtový program STAMOD440. Zahrnuje statický výpočet hydrauliky primárního okruhu, výpočet parogenerátorů, hydrauliky sekundárního okruhu, a navazující detailní výpočet průtočné části turbíny včetně kondenzátoru a systému regenerace páry, s určením vnitřního, spojkového a elektrického výkonu. Struktura programu je obecná a konkrétní verze pro určitou JE je dosaženo modifikací vstupních dat.

Termohydraulické charakteristiky AZ reaktorů typu VVER 440 jsou počítány programem THBLOK, který je obvykle součástí makrokódu MOBYDICK, ale může také pracovat samostatně. Program počítá rozdělení průtoku chladiva do jednotlivých palivových kanálů AZ. Na základě znalosti odporových charakteristik a výkonu jednotlivých kazet jsou iteračně určeny příslušné průtoky a výstupní teploty chladiva z palivových svazků kazet. Program umožňuje i výpočet kritického tepelného poměru v jednotlivých charakteristických kanálech AZ pomocí některé ze zabudovaných korelací.

Výpočtové hodnocení nejzatíženějších palivových kazet bylo provedeno pomocí subkanálového kódu CALOPEA, který je určen k výpočtu lokálních termohydraulických parametrů metodou subkanálové analýzy v palivových kazetách VVER 440. Distribuce výkonu a vyhoření paliva jsou převzaty z výsledků neutronově-fyzikálního výpočtu programem MOBY-DICK a režimové parametry z výsledků programů THBLOK a STAMOD440.

4.4.5 Zkoušky a ověřování

Výpočtové programy

Přesnost výpočtu termohydraulických charakteristik systému chlazení reaktoru a aktivní zóny je dána především přesností určení průtoku chladiva primárním okruhem (I.O) a jeho distribuce v reaktoru a přesností výpočtu distribuce výkonu v AZ, která je přebírána z výsledků získaných makrokódem MOBYDICK. Stanovení průtoku chladiva v I.O se provádí programem STAMOD440, který byl opakovaně využíván v rámci komplexního předprovozního vyzkoušení bloků VVER-440 v Jaslovských Bohunicích, Dukovanech a Mochovcích. Programem STAMOD440 byly prováděny výpočty měřených režimů s imitovanou zónou a nulovým výkonem, přepočtené pro skutečnou zónu a nenulový výkon. Vyhodnocení měření a výpočtů provedených pro všechny tyto bloky jsou obsaženy v příslušných protokolech z realizace měření hydraulických charakteristik těchto bloků. Tato vyhodnocení vedla k upřesnění hydraulických charakteristik vnitřních částí reaktoru i celého primárního okruhu a ke korekcím charakteristik hlavních cirkulačních čerpadel.

Zkoušky při uvádění do provozu po odstávce reaktoru

Uvádění jednotlivých reaktorových bloků JE Dukovany do provozu po odstávce je z hlediska zkoušek tvořeno širokým komplexem testů, prověrek a zkoušek. Tyto probíhají na jednotlivých komponentách, celcích a systémech. Při zkoušení se vždy postupuje podle provozních předpisů pro jednotlivá zařízení, ve kterých jsou kromě nominálních stavů popsány i zkoušky při náběhu zařízení. Na náročné testy a zkoušky jsou vytvořeny technologické postupy, kde jsou popsány činnosti jednotlivých odborností, které se zkoušek a testů účastní. Další informace viz díl 14 (Programy zkoušek).

4.4.6 Požadavky na instrumentaci

Vnitroreaktorová instrumentace

Účelem vnitroreaktorových měření je získání dat potřebných k monitorování paliva v AZ reaktoru a dalších důležitých fyzikálně-technických parametrů bloku. Sestává z vnitroreaktorových detektorů neutronového toku, snímačů teplot chladiva na výstupu z aktivní zóny a aparatury, určené pro sběr a prvotní zpracování signálů. Měření teplot chladiva na výstupu z aktivní zóny se provádí termočlánky, které jsou umístěny v suchém kanálu. Do vyhodnocovací aparatury jsou též připojena měření teplot na cirkulačních smyčkách I.O a další pomocné parametry z primárního i sekundárního okruhu JE, např. poloha regulačních kazet, koncentrace H_3BO_3 v chladivu, sledování hladiny a tlaku v kompenzátoru objemu a tlakové diference chladiva na parogenerátorech. Podrobnější informace jsou obsaženy v dílu 7 (Instrumentace a řízení).

Instrumentace pro omezení vysokého výkonu reaktoru

Ochrana reaktoru před nadměrným zvýšením výkonu nebo rychlosti jeho nárůstu je řešena v rámci systému EXCORE, a to v pásmu nízkého výkonu a v pásmu vysokého výkonu. V rámci systému EXCORE je řešena aktivace, deaktivace i přepínání neutronových měření při generaci signálů pro rychlé odstavení reaktoru. Kromě ochran reaktoru jsou systémem EXCORE poskytovány signály také pro limitační a ochranný systém. Nastavení ochran pro rychlé odstavení reaktoru je součástí Limitů a podmínek bezpečného provozu. Podrobnější informace o čidlech pro měření neutronového toku vně aktivní zóny (ionizační komory) a dalších charakteristikách ochrany reaktoru od převýšení výkonu a/nebo rychlosti zvyšování výkonu obsahuje díl 7 (Instrumentace a řízení).

Systém pro monitorování volných částí v primárním okruhu

Diagnostický systém monitorování volných částí je určený na monitorování, lokalizaci a odhad hmotnosti (kinetické energie) volných částí (např. kovových úlomků), které se nacházejí v primárním okruhu jaderné elektrárny. Takovéto volné části jsou unášené chladícím médiem a při svém pohybu narážejí na vnitřní stěny tlakovodních zařízení (např. primární potrubí, hydraulická část hlavních cirkulačních čerpadel, stěny tlakové nádoby reaktoru). Podrobnější popis systému viz díl 9 (Pomocné systémy).

Instrumentace pro indikaci nedostatečného chlazení AZ

Za normálního provozu jsou potřebné informace pro indikaci zhoršeného chlazení aktivní zóny zpracovávané a poskytované systémem SCORPIO-VVER. Jedná se jak o tlakové a průtokové charakteristiky (včetně tlakové ztráty na aktivní zóně), tak i parametry výkonových distribucí. Z hlediska kontroly přiměřenosti chlazení aktivní zóny (i při dodržení omezení na rozložení výkonu) je klíčovým vyhodnocování ohřevů na reaktoru a ohřevů skupin palivových kazet, které mají stanoveny limity ohřevů pro každou specifickou palivovou vsázku. Uplatnění aplikované metodiky zajišťuje, aby u žádné kazety příslušné skupiny nedošlo k překročení teploty sytosti u jejího horkého kanálu.

Off-line analýzy (systém sběru dat)

Data z provozních měření jsou získávána ze systému NLAN provozovaného EDU. Systém zajišťuje sběr hodnot signálů z dílčích měřících a informačních systémů všech výrobních bloků. Systém data archivuje a má prostředky pro jejich prohlížení a pro export k dalšímu zpracování. Součástí systému jsou dva archivní subsystémy – krátkodobý a dlouhodobý. Krátkodobý archiv uchovává data po dobu cca 3 týdny, dlouhodobý archiv ukládá data změnově. Hodnota signálu je do archivu vložena (spolu s časovým údajem) pouze v případě větší než zadané změny od hodnoty naposledy uložené.

4.4.7 Nezávislé analýzy dodavatele paliva

Technické zdůvodnění tepelných a hydraulických podmínek, zajišťujících spolehlivé chlazení aktivní zóny reaktoru v stacionárním normálním provozu palivových vsázek, je obsaženo také v dokumentaci dodavatele paliva. Z porovnání projektových omezení s výpočtovými hodnotami plyne, že výpočtové hodnoty výkonu palivového proutku, výkonu kazety, lokálního lineárního výkonu a průtoku chladiva svazkem palivových proutků se nacházejí ve stacionárním provozu reaktorového zařízení v projektových mezích jak při nominálních, tak i při odkloněných parametrech.

Výsledky výpočtů termohydraulických charakteristik aktivní zóny reaktoru ve stacionárním provozním režimu ukázaly, že u všech zkoumaných variant je chladivo na výstupu ze svazku palivových proutků pro nominální parametry chladiva nedohřáté do teploty sytosti. V případě odkloněných parametrů při minimálním dovoleném průtoku chladiva reaktorem není rezerva do teploty sytosti na výstupu z nejzatíženějších svazků palivových proutků žádná a dochází k varu chladiva téměř u všech zkoumaných výpočtových variant.

Obdržené hodnoty minima kritického tepelného poměru pro stacionární režim provozu palivových vsázek pro případ nejméně příznivých podmínek (odkloněné parametry a konzervativní n-f charakteristiky) převyšují s velkou rezervou limit bezpečného provozu, čímž je prokázáno spolehlivé chlazení pracovních kazet i palivových částí regulačních kazet.

4.5 Materiály reaktoru

Materiály použité pro zařízení primárního okruhu se musí vyznačovat všeobecnou korozní stálostí ve vodě především proto, že produkty koroze při přenosu tokem chladícího média mohou způsobit řadu problémů:

- zmenšení převodu tepla palivových článků při uložení produktů koroze na teplosměnných površích,
- zhoršení radiačních poměrů celého okruhu,
- zanesení kanálů zmenšujících průchod chladiva,
- zhoršení práce třecích ploch pohybujících se dílů.

Oceli musí mít rychlost rovnoměrné povrchové koroze maximálně 0,01 mm/rok. Ke korozně odolným nebo nerezavějícím ocelím patří velká skupina ocelí na základě železa obsahující nejméně 12% Cr a také doplňkově legovaná takovými prvky jako je Ni, Mo a jiné. Korozně odolné slitiny obyčejně obsahují jako základ nikl. V závislosti na chemickém složení a tepelném zpracování mají korozně odolné oceli různou strukturu a vlastnosti.

Použité materiály odkazují vesměs na normy GOST, odpovídající značení nebude v dalším použito, materiály budou uvedeny pouze jejich slovním označením.

4.5.1 Materiály systému pohonů řídicích orgánů

Pohon regulačního orgánu sestává z těchto částí:

1. Čidlo ukazatele polohy.
2. Elektromotor.
3. Vřetenové zařízení.
4. Reduktor.
5. Hřebenový uzel.
6. Chladič.
7. Hydraulická zarážka.

Všechny části pohonů řídících orgánů jsou vyrobeny z materiálů, které odolávají korozním účinkům vody. Jsou použity následující typy materiálů:

- austenitické stabilizované nerezavějící oceli;
- martenzitická nerezavějící ocel;

- martenziticko-feritická nerezavějící ocel ve dvou úrovních pevnosti daných různým způsobem tepelného zpracování (teplotou popouštění);
- austenitická nerezavějící ocel;
- martenzitická nerezavějící ocel;
- slitina železo-nikl-chróm;
- feritická nerezavějící ocel;
- austenitická nerezavějící ocel;
- austenitická stabilizovaná nerezavějící ocel;
- uhlíková jakostní konstrukční ocel;
- hliníkový bronz;
- elektrovodná měď;
- nikl

V konstrukci pohonů řídicích orgánů jsou použity dále uvedené oceli s mezí kluzu vyšší 620 MPa:

- martenziticko-feritická ocel tepelně zpracovaná na vyšší pevnost;
- martenzitická ocel;
- austenitická ocel tažená za studena a použitá na výrobu pružin.

4.5.2 Materiály vnitřních částí reaktoru

Vnitřní části sestávají z následujících celků (dodávkových skupin pojmenovaných podle výrobních výkresů):

1. Šachta
2. Dno šachty
3. Koš aktivní zóny
4. Blok ochranných trub
5. Vložená tyč

Pro výrobu vnitřní vestavby byly použity následující materiály:

- austenitická stabilizovaná nerezavějící ocel,
- martenziticko-feritická nerezavějící ocel tepelně zpracovaná na nižší pevnost,
- slitina železo-nikl-chróm,
- niklová slitina,
- nikl.

4.6 Funkční návrh systému řízení reaktivity

V projektu jsou uváženy dva nezávislé systémy působení na reaktivitu, založené na různých principech, schopné nezávisle jeden na druhém zajistit přechod reaktorového zařízení z libovolného stavu normálního provozu do podkritického stavu a udržet ho v něm při pracovní teplotě chladiva. Změnou reaktivity AZ reaktoru VVER-440 se rovněž řídí jeho výkon. Změna reaktivity se provádí dvěma způsoby:

a) pohybem absorbátoru a paliva v AZ, který je realizován prostřednictvím mechanických orgánů systému řízení a ochrany (tj. pohybem kazet HRK),

b) změnou absorpčních vlastností moderátoru, která je realizována prostřednictvím systému bórové regulace.

Mechanické orgány systému řízení a ochrany zabezpečují tyto režimy:

- spouštění reaktoru po havarijním odstavení a vyvedení na výkon 3 - 5% nominální hodnoty,
- automatické (nebo ruční) udržení výkonu od 3 - 5% do 102% nominální hodnoty,
- kompenzaci rychlých změn reaktivity (výkonový efekt a část teplotního efektu, ap.),
- havarijní ochranu.

Systém bórové regulace se používá pro:

- kompenzaci pomalých změn reaktivity,

- regulaci polohy HRK,
- dosažení požadovaného podkritického stavu,
- uvedení reaktoru do kritického stavu po výměně paliva.

Aktivní zóna reaktoru je tvořena 312 pracovními kazetami a 37 havarijních, regulačních a kompenzačních kazet (HRK), které se mohou přemisťovat ve vertikálním směru. Detaily konstrukce HRK jsou uvedeny v kapitole 4.1. Pohyb 37 regulačních kazet obstarávají synchronní reakční motory (bez vinutí na rotoru) napájené ze speciálních generátorů proměnné nízké frekvence.

Regulační kazety jsou rozděleny do šesti skupin - jedna skupina (6) má sedm kazet, ostatní po šesti. Regulační kazety jednotlivých skupin jsou v AZ rozmístěny symetricky. Při provozu reaktoru na energetické hladině jsou skupiny kazet 1 až 5 v horní koncové poloze, skupina kazet číslo 6 je v pracovní poloze. Za nominálního provozu bloku je šestá skupina kazet určena k regulaci reaktoru a je řízena regulačním systémem reaktoru nebo ručně operátorem reaktoru. Při nenominálním provozu bloku provázeném zapracováním systému ochran reaktoru jsou všechny kazety zasouvány do aktivní zóny reaktoru. Pracovní rychlost přemísťování kazet je 20 mm/s, havarijní rychlost zasouvání (pád) kazet je 200 ÷ 300 mm/s.

Pohony regulačních kazet jsou umístěny v horní části 37 pouzder pohonů, které jsou součástí horního bloku reaktoru. Podrobnější informace o pohonech regulačních orgánů zejména z hlediska konstrukce, technických podmínek provozu, kontrol a životnosti jsou uvedeny v dílu 3 (Konstrukce staveb, komponent, zařízení a systému) a popis řídicího systému pohonů souvisejícího s bezpečností je uveden v dílu 7 (Instrumentace a řízení).

Zkoušení a ověřování systému pohonu regulačních orgánů

Po výměně paliva se pravidelně provádějí testy fyzikálního a technologického spouštění. Vzhledem k důležitosti systému pohonů HRK je třeba provádět, bezprostředně před každým spouštěním reaktoru po odstávce, předepsané zkoušky, včetně kontroly spojení s vloženou tyčí, jejichž cílem je potvrzení funkčnosti celého systému.

Cílem testů fyzikálního spouštění je potvrdit správnost zavezení aktivní zóny a prokázat soulad naměřených hodnot s požadavky jaderného a termohydraulického návrhu. Testy fyzikálních charakteristik AZ jsou podrobně popsané v příslušném provozním předpise.

Informace o kombinované činnosti systémů řízení reaktivity

K systémům působení na reaktivitu reaktoru náleží:

- systém mechanické regulace,
- systém doplňování, odpouštění a bórové regulace,
- systémy havarijního chlazení aktivní zóny.

Systém mechanické regulace musí být schopen působit požadovaným způsobem na reaktivitu v normálním i abnormálním provozu a pro případ havarijních podmínek musí být schopen uvést reaktor do bezpečně podkritického stavu (ochrana reaktoru).

Systém doplňování, odpouštění a bórové regulace (viz kapitola 5.5.5) kompenzuje pomalé změny reaktivity spojené s ohřevem nebo ochlazováním primárního okruhu, se stacionární otravou aktivní zóny, s vyhořením paliva a zabezpečuje nutnou podkritičnost při zavážení paliva. Je schopen nezávisle na systému mechanické regulace (ale s pomalejším trendem) převést reaktor do podkritického stavu.

Za normálního provozu bloku je v činnosti systém mechanické regulace i systém doplňování, odpouštění a bórové regulace. Kombinované použití obou těchto systémů má v normálním provozu za cíl zvýšení bezpečnosti (např. vytvoření odstavné koncentrace kyseliny borité), nebo slouží k udržení provozu v souladu s Limity a podmínkami např. v režimech překompenzace při výkonových změnách (ustavení správných poloh orgánů mechanické regulace z hlediska rozložení výkonu).

Systémy havarijního chlazení aktivní zóny (viz kapitola 6.3) zajišťují zalití aktivní zóny reaktoru bórovanou vodou v počáteční fázi nehody a odvod zbytkového tepla v její další fázi.

Kombinovaná činnost systémů řízení reaktivity je spojena s ručními manipulacemi, které musí být v souladu s platnými Limity a podmínkami a provozními předpisy. Zavádění kladné reaktivity je dovoleno pouze jedním způsobem, tj. buďto vytahováním kazet HRK nebo přívodem čistého kondenzátu do primárního okruhu, přičemž je Limity a podmínkami omezena také rychlost zvyšování reaktivity prostřednictvím periody růstu výkonu a pro bórovou regulaci při dosahování kritického stavu také prostřednictvím omezení průtočného množství čistého kondenzátu.

Pro zvládnutí událostí abnormálního provozu a havarijních podmínek z hlediska kompenzace reaktivity jsou určeny systémy:

- mechanické regulace a
- havarijního chlazení aktivní zóny.

Systém mechanické regulace je přitom určen pro první fázi uvažovaných nehod pro dosažení podkritického stavu, v další fázi průběhu nehod pak může být požadováno působení systému havarijního chlazení aktivní zóny na reaktivitu, aby byl reaktor dlouhodobě udržován v bezpečném podkritickém stavu.

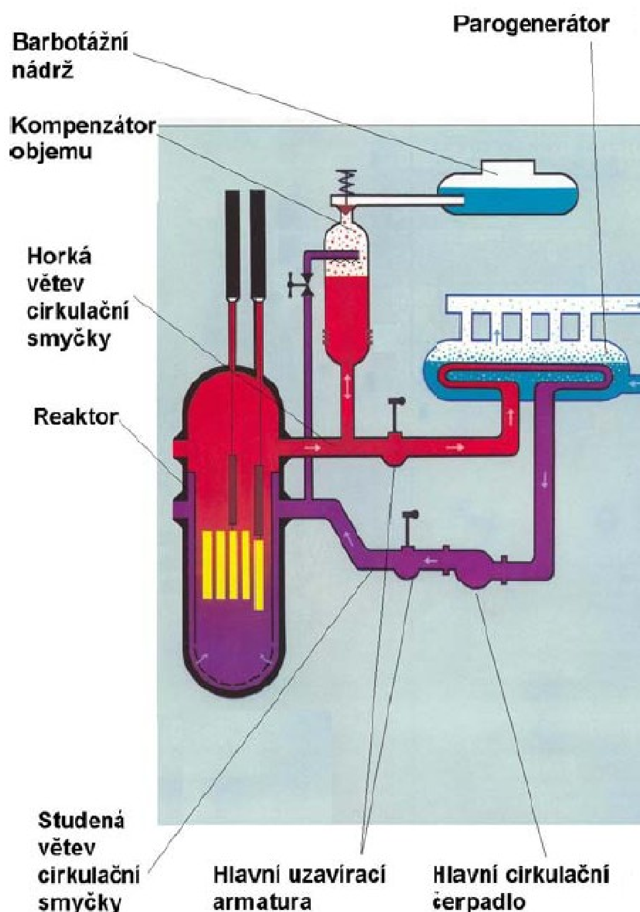
Hodnocení kombinované činnosti

Existují dva typické případy využívání kombinované činnosti systémů působících na reaktivitu, a to je doplňování objemu chladiva při vychlazování primárního okruhu v důsledku zvýšeného odvodu tepla sekundárním okruhem a doplňování ztráty chladiva při nehodách spojených s úniky z primárního okruhu. V obou případech se jako jednoduchá porucha uvažuje zaseknutá nejúčinnější kazeta v krajní horní poloze. Dalším konzervativně používaným předpokladem je neuvažování prvního (příp. několika prvních) signálu pro rychlé odstavení reaktoru

5 Systém chlazení reaktoru a navazující systémy

5.1 Celkový popis

Jaderná elektrárna Dukovany je tvořena čtyřmi bloky s jadernými reaktory VVER 440, typu V-213. Systém chlazení reaktoru každého bloku je tvořen celkem šesti chladícími smyčkami, označované jako hlavní cirkulační potrubí. Každé smyčce přísluší jeden parogenerátor a jedno hlavní cirkulační čerpadlo. Na každé větvi hlavního cirkulačního potrubí je umístěna hlavní uzavírací armatura. K jedné z chladicích smyček je připojen systém kompenzace objemu spolu s odlehčovacím ventilem a uzlem pojistných ventilů. Celý systém chlazení reaktoru je uzavřený a je rovněž nazýván primárním okruhem. Systém je umístěn uvnitř kontejnmentu v hermeticky izolovaném prostoru od okolí. Primární okruh také tvoří 3. fyzickou bariéru před únikem radioaktivních látek do prostor elektrárny případně do životního prostředí. Navazující součástí systému chlazení reaktoru jsou hlavní parovody a napájecí potrubí parogenerátorů, které jsou z části umístěny rovněž v kontejnmentu, ale funkčně náleží již k sekundárnímu okruhu. Hranicí mezi primárním a sekundárním okruhem tvoří parogenerátory.



Obr. 54. Schéma primárního okruhu JE Dukovany

Na primární okruh navazují pomocné systémy primárního okruhu. **Mezi nejdůležitější pomocné systémy primárního okruhu patří:**

- Systém kontinuálního čištění chladiva primárního okruhu
- Systém doplňování a borové regulace
- Systém spalování vodíku
- Systém organizovaných úniků
- Systém havarijního chlazení aktivní zóny

Vlivem štěpné řetězové reakce v jaderném palivu dochází v palivových peletkách k intenzivnímu vývinu tepla. V důsledku toho se palivové proutky zahřívají. Mezi nimi proudí chladivo primárního okruhu (I.O) a odvádí teplo z aktivní zóny (AZ), proudí skrz hlavní cirkulační potrubí a přes parogenerátory předává teplo do sekundárního okruhu. Chladivo se vrací z parogenerátorů přes hlavní cirkulační čerpadla do tlakové nádoby reaktoru, sestupnou šachtou reaktoru zpět do AZ. Chladivem primárního okruhu a zároveň moderátorem štěpné reakce je demineralizovaná voda s obsahem rozpuštěné kyseliny borité v koncentraci 0 – 12g/kg chladiva. Koncentrace kyseliny borité v chladivu se mění během kampaně v závislosti na vyhoření jaderného paliva. Koncentrace a množství chladiva v primárním okruhu je řízena systémem doplňování a borové regulace. Tlak v primárním okruhu je udržován systémem kompenzace objemu pomocí ohřevu chladiva v kompenzátoru objemu (KO) nebo sprchováním parního polštáře v KO. K potlačení nežádoucího zvýšení tlaku v I.O je určen uzel pojišťovacích ventilů kompenzátoru objemu (PV KO), který je řešen s jedním odlehčovacím ventilem a dvěma hlavními pojistnými ventily. Odpouštěná pára je vedena ke kondenzaci do barbotážní nádrže (BN). Omezení růstu aktivity chladiva I.O.je docíleno průtokem chladiva I.O přes filtry systému kontinuálního čištění primárního chladiva.

Dispoziční rozložení hlavních komponent systému chlazení reaktoru uvnitř kontejnmentu je zřejmé z následujících dvou obrázků.



Obr. 55. Rozmístění hlavních komponent primárního okruhu JE Dukovany (vertikální řez)



Obr. 56. Rozmístění hlavních komponent primárního okruhu JE Dukovany (horiz. řez)

Navazující pomocné systémy zajišťují drenáž hlavních zařízení a potrubí při vypouštění I.O, řízený sběr úniků chladiva I.O a jejich odvod do nádrže organizovaných úniků, likvidaci vodíku uvolňujícího se z chladiva I.O a čištění plynných médií odváděných ze systému spalování vodíku, BN, chladiče a nádrže organizovaných úniků a nádrží nečistého kondenzátu. Systém havarijního chlazení aktivní zóny zajišťuje bezpečné odstavení reaktoru a zejména odvod tepla z aktivní zóny reaktoru při havarijních stavech.

Koncepce stavby a částečně technologie jaderné elektrárny s jaderným reaktorem typu VVER-440 je řešena dvoublokově. To znamená, že některé stavby a technologie jsou vždy společné pro dva bloky. Tudíž vždy dva bloky mají společný reaktorový sál, společnou transportně-technologickou část jaderného paliva, společnou strojovnu, budovu pomocných provozů. Funkčně jsou, ale bloky naprosto nezávislé. V lokalitě jaderné elektrárny Dukovany jsou celkem 4 bloky, tedy 2 dvoubloky.

5.2 Integrita tlakového systému chlazení reaktoru

Primární okruh jaderné elektrárny tvoří uzavřený systém, který obsahuje médium o vysoké teplotě, tlaku a s obsahem kyseliny borité. Chladivo primárního okruhu je také radioaktivní. Z těchto důvodů jsou na integritu primárního okruhu kladeny vysoké materiálové, konstrukční i provozní nároky.

5.2.1 Kontrola tlaku a ochrana před přetlakováním

Tlakovou hranici primárního okruhu tvoří reaktor, hlavní cirkulační potrubí s hlavními uzavíracími armaturami, parogenerátory, hlavní cirkulační čerpadla a kompenzátor objemu s uzlem pojistných ventilů a odlehčovacího ventilu.

K ochraně primárního okruhu před přetlakováním slouží systém kompenzace objemu s pomocnými systémy, systém havarijních ochran reaktoru a systému pojišťovacích ventilů kompenzátoru objemu.

Systém kompenzace objemu slouží k udržování tlaku v I. O. a k ochraně I. O. před nekontrolovaným nárůstem tlaku v přechodových režimech bloku a zmírňuje změny tlaku v I. O v havarijních režimech. Systém kompenzace objemu splňuje následující základní požadavky:

- Autoregulace (samokompenzace) při malých změnách teploty chladiva (jedná se o změny teploty vyvolané změnou výkonu při náběhu a ostavování ap.),
- udržení tlaku v I. O. při malých poruchách ze strany zařízení a systémů primárního nebo sekundárního okruhu (výpadky HCČ, TG ap.),
- zabezpečení autonomního ohřevu i ochlazování KO,
- zabezpečení plynulého zvyšování a snižování tlaku při ohřevu a dochlazování I. O.

V primárním okruhu je udržován nominální tlak 12,26 Mpa. Velmi malé změny tlaku jsou samoregulovány na základě fyzikálních principů v kompenzátoru objemu změnou objemu parního polštáře nad hladinou chladiva v kompenzátoru objemu.

Nominální tlak v I. O. 12,26 MPa je udržován periodickým zapínáním elektro ohříváků v kompenzátoru objemu. Při přetlaku 12,42 MPa vypíná poslední pracující skupina elektro ohříváků.

Při vzrůstu tlaku nad nominální hodnoty nejdříve zasáhne systém vstřiků do kompenzátoru objemu. Podle velikosti tlaku v I.O. mohou být v činnosti až čtyři větve vstřiků, které otevírají v rozmezí 12,54 - 12,94 MPa přetlaku. Pokud bude v automatickém režimu regulátor výkonu reaktoru ARM RCS v režimu "N" nebo "T", je zvyšování neutronového výkonu reaktoru blokováno při tlaku v I.O ≥ 12,7 MPa. Tím bude od nárůstu přetlaku v I.O 12,9 MPa působit signál „Zákaz více“, který zamezí případnému nárůstu výkonu v tomto stavu od jiných parametrů bloku.

V případě dalšího růstu tlaku v I.O. se nejprve otevírá armatura YP11S01 na obtoku PVKO do BN, při přetlaku v KO 13,13 MPa, která uzavírá pokud tlak v KO poklesne na hodnotu přetlaku v KO 12,74 MPa.

Při překročení přetlaku 13,30 MPa působí signál HO-4 a při překročení přetlaku 13,80 MPa působí HO-3, který po 20 s přechází v HO-2.

Při vzrůstu přetlaku na 13,81 MPa otevírá odlehčovací ventil KO s hltností 56 t/h, při přetlaku v KO 14,42 MPa první pojišťovací ventil a při 14,60 MPa druhý pojišťovací ventil. Hlavní pojišťovací ventily mají hltnost 216 t/h (2 x 108 t/h), což zabraňuje růstu tlaku nad 10 % jeho výpočtového tlaku (min. výpočtový přetlak komponent I.O je 13,7 MPa) při všech projektových stavech viz kap. 15 této zprávy. V rámci kapitoly 15 je navíc

předpokládáno, že ze systémů chránících I.O. před přetlakováním správně zapracuje jediný a to pouze uzel PV KO s uvážením nepřesností v jeho nastavení. Pára je z pojišťovacích ventilů odváděna do barbotážní nádrže. Projekt předpokládá při dlouhodobé činnosti OV resp. PV KO protržení pojistných membrán barbotážní nádrže a únik páry do hermetické zóny.

Mimo výše uvedené způsoby je možno ručním zásahem je možné snížit tlak v I.O. otevřením pojistných ventilů na odpouštění z I.O. Tento postup je zapracován v předpise P003 Likvidace mimořádných stavů.

5.2.2 Materiály tlakové hranice systému chlazení reaktoru

Systém chlazení reaktoru jako celek je vystaven velmi složitým podmínkám provozu a namáhání, splňuje přísná kritéria provozní spolehlivosti a jaderné bezpečnosti v průběhu celé plánované životnosti jaderné elektrárny Dukovany s dostatečnou rezervou.

Všechny kovové i nekovové materiály, použité v systému chlazení reaktoru a jeho komponentech, jsou uvedeny v průvodní projektové dokumentaci JE Dukovany. Materiál musí odolat působení radiace, působení primárního chladiva (prakticky se jedná o slabý roztok kyseliny borité), vysokému tepelnému a dynamickému namáhání.

Podrobný výčet, chemické složení, mechanické vlastnosti, způsob ověřování vlastností materiálu a zkoušky jsou pro TNR uvedeny v další části této zprávy.

Pro hlavní komponenty primárního okruhu jsou materiály popsány dále:

5.2.2.1 Materiály HCČ

HCČ byly součástí komplexní dodávky z tehdejšího Sovětského svazu. Byly projektovány a konstruovány a vyrobeny podle sovětských předpisů a norem, plně v souladu „Předpisy pro výstavbu a bezpečný provoz zařízení jaderných elektráren, experimentálních a výzkumných jaderných reaktorů a souborů (Moskva, 1973)“, avšak tak, aby vyhovovaly příslušným tehdy platným československým předpisům a normám.

Základním materiálem tělesa hydraulické části, oběžného kola a ostatních částí přicházejících do styku s pracovním mediem I.O. jsou vyrobeny z nerezavějících austenitických ocelí. Výčet všech kovových i nekovových materiálů, použitých na HCČ je uveden v průvodní dokumentaci jednotlivých dodávek. Jejich podrobný výčet, chemické složení, mechanické vlastnosti, specifické vlastnosti, způsob ověřování jejich jakosti a jiné podstatné technické údaje jsou rovněž součástí průvodní technické dokumentaci HCČ.

5.2.2.2 Materiály hlavního cirkulačního potrubí

Materiálem pro výrobu potrubí HCP byla zvolena AUSTENITICKÁ NEREZAVĚJÍCÍ OCEL s označením 08CH18N12T dle GOST 5632-72; odpovídá oceli W.Nr.1.4541, ale s vyššími mechanickými hodnotami, zaručenou metalurgickou čistotou, obsahem feritu a dalšími kvalitativními požadavky.

Chemické složení je voleno tak, aby ocel měla vysoké mechanické hodnoty za tepla (normálně 134 MPa, tato ocel 177 MPa), avšak byla zaručena odolnost proti mezi krystalové korozi (proto stabilizace Titanem). Rovněž obsah příměsí (síra, fosfor) je zaručován z hlediska svařitelnosti na extrémně nízké hodnotě.

5.2.2.3 Materiály hlavních uzavíracích armatur

Základní části HUA byly vyrobeny z ocelí 08CH18N12T dle GOST 5632-72 a 14CH17N2 dle GOST 5632-72 a to ve formě opracovaných výkovků v bývalé firmě VŽSKG Ostrava o.p. Přejímka vyrobených polotovarů pro konečnou montáž v SIGMA Modřany byla prováděna dle TP-VŽ-410/78 „Technické podmínky pro zhotovení a přejímku opracovaných výkovků HUA DN 500.

5.2.3 Detekce úniků ze systému chlazení reaktoru

Součástí zajištění integrity tlakové hranice primárního okruhu jsou také systémy detekce úniků ze systému. Není totiž možné konstrukčně navrhnout a vyrobit absolutně těsný systém.

Systémy detekce úniků jsou určeny pro monitorování úniků ze systému chlazení reaktoru. Úniky z tlakové hranice systému chlazení lze rozdělit do následujících skupin.

a) únik organizovaný	jedná se o systém organizovaných úniků a úniky ze všech přírubových spojů, např. parogenerátorů, hlavních cirkulačních čerpadel, kompenzátoru objemu, tlakové zásobníky a armatury
b) únik řízený	je únik, který lze měřit a zavřít; patří sem tlakový odvod vody z ucpávek HCČ
c) únik neorganizovaný	jedná se o jiné úniky z primárního okruhu zahrnující úniky v důsledku chybně nastavených armatur, netěsností potrubních tras, armatur, těsnících spojů a dalších zařízení I.O včetně úniku do sekundárního okruhu přes poškozenou teplosměnnou trubku PG a úniků do vložených okruhů přes chladiče. Neorganizované úniky jsou monitorovány v závislosti od typu úniku specifickými způsoby (např. monitorování nátoků do jímky, monitorování tlaku a teploty v hermetickém prostoru, atd.). Projektová hodnota úniků přes tlakové rozhraní I.O do neobslužných prostor hermetické zóny je 200 l/h.

5.2.4 Vyhodnocení připravenosti systému pro další provoz

Zhodnocení jednotlivých systémů z hlediska připravenosti na další provoz jaderné elektrárny Dukovany je uvedeno v příslušných kapitolách systému kompenzace objemu, uzel odlehčovacího ventilu a pojistných ventilů a systému organizovaných úniků.

5.3 Tlaková nádoba reaktoru

Tlaková nádoba reaktoru (TNR) je silnostěnná válcová nádoba, tvoří hranici mezi chladivem reaktoru a okolním prostředím hermetického prostoru.

Uvnitř nádoby je vlastní reaktor, kde se odehrává proces řízeného uvolňování tepelné energie z paliva. Nádoba reaktoru je důležitý bezpečnostní prvek a na její vlastnosti jsou kladené vysoké požadavky. Musí odolávat vysokým tlaků, teplotám a neutronovému toku.

Nádoba reaktoru má válcový tvar s množstvím nátrubků pro vstup a výstup chladiva z reaktoru, pro systém havarijního chlazení a pro systém kontroly a řízení. Vnější průměr nádoby je 4,27 m a výška 11,8 m. Tloušťka stěny je 46,5 cm. Hmotnost TNR činní 215 000 kg. Objem chladiva uvnitř TNR je 93 m^3. Projektová výpočtová provozní životnost TNR je minimálně 40 let. Skutečná životnost závisí historii namáhání a zejména radiačnímu křehnutí materiálu TNR v důsledku působení neutronového záření tzv, fluence neutronů a jeho interakce s materiálem TNR. V EDU je dlouhodobě udržovaná snížená fluence neutronů návrhem vsázek s nízkým únikem neutronů. Toto je rozhodující opatření pro možnost prodloužení provozní životnosti TNR nad projektovou výpočtovou životnost.

Tlaková nádoba reaktoru je umístěna v šachtě reaktoru.

5.3.1 Materiály tlakové nádoby

Tlaková nádoba reaktoru VVER 440 typu V-213 je vyrobena z chrom-molybden-vanadové oceli nese označení 15CH2MFA. Tato ocel byla vyvinuta konkrétně pro tlakovou nádobu. Mezi hlavní charakteristiky této oceli patří zvýšená odolnost proti stárnutí vlivem tlaku a teploty. TNR je zevnitř chráněna antikorozním návarem. Víko TN je vyrobeno z oceli 18CH2MFA. Specifikaci materiálů na tlakovou nádobu reaktoru uvádí Tabulka 1.

Error: Reference source not found Tabulka 1: Požadavky technických specifikací na oceli 15CH2MFA, 18CH2MFA

Značka oceli	CHEMICKÉ SLOŽENÍ (hmotnostní %)										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	**Cu**	**Co**	**As**
15Ch2MFA	0,13 0,18	0,3 0 0,6 0	0,17 0,30	≤ 0,025	≤ 0,02 5	2,50 3,0	Max. 0,40	0,60 0,80	0,25 0,35	≤ 0,15	≤ 0,02 0	≤ 0,0 4
18Ch2MFA	0,16 0,21	0.3 0 0.6 0	0.17 0.30	≤ 0,025	≤ 0,02 5	2,50 3,.0	Max. 0,40	0,60 0,80	0,25 0.35	≤ 0,15	≤ 0,02 0	≤ 0,0 4

Z oceli 15CH2MFA je vyrobeno celé těleso TNR.
Z oceli 18CH2MFA je vyrobeno víko a prstenec víka.

Těleso nádoby je svařeno z několika prstenců a dna. Jednotlivé díly jsou svařeny obvodovými svary automatickým svařováním pod tavidlem a celý vnitřní povrch TNR i víka TNR je pokryt austenitickou nerezovou výstelkou (návarem) pro zajištění korozní odolnosti. Víko TNR je tvořeno vrchlíkem a prstencem víka.

5.3.1.1 Kontroly TNR

Pro kontrolu tlakové nádoby byly použity prakticky všechny dostupné metody detekce povrchových a vnitřních necelistvostí.

V průběhu výroby se provádí kontrola ultrazvukem (zkoušky ultrazvukovou přímou sondou, zkoušky ultrazvukovými úhlovými sondami, kontrola návarů ultrazvukem), kontrola magnetická, kontrola kapilární, kontrola prozařováním. Během těchto kontrol nebyly nalezeny žádné nepřípustné indikace, a tudíž se z tohoto důvodu neprováděly ani žádné opravy.

Před uvedením do provozu se provedla kontrola vnitřního a vnějšího povrchu nádoby, a to pomoci vizuální kontroly, televizní technikou, kapilární kontrolou, magnetickou kontrolou, prozařováním a ultrazvukem.

Z výsledků předprovozních i poté prováděných provozních kontrol dosud nevyplynula žádná nutnost provádět případné opravy TNR na žádném z bloků EDU. Přesto je třeba kontrolovat chování materiálu TNR během provozu. K tomuto účelu slouží tzv. „svědečný program“, kterým se na vzorcích monitorují degradační změny vlastností materiálu.

Nejvýznamnější změny jsou způsobené radiačním křehnutím po dlouhodobém ozařování materiálu TNR.

V rámci zachování jakosti se periodicky provádí kontrola materiálu TNR s cílem odhalení vad na povrchu a po tloušťce stěny základního materiálu a svarových spojů. A to magnetickou metodou, kapilární metodou, vířivými proudy, ultrazvukovou kontrolou. Dále se provádí technická prohlídka vnější části tlakové nádoby pomocí manipulátoru pro kontrolu TNR.

Tab. 30. Parametry TNR

Název parametru a jeho rozměr	Hodnota
Hmotnost tělesa TN [kg]	215 000
Objem chladiva v TN [m^3], (řídicí tyče v horní poloze)[1]	96,013
Teplota chladiva na vstupu do reaktoru [^0C]	267±2
Střední teplota chladiva na výstupu z reaktoru [^0C]	297±2
Tlak chladiva na výstupu z aktivní zóny reaktoru [MPa]	12.3
Výpočtový přetlak chladiva v reaktoru [MPa]	13.7
Průtok chladiva reaktorem [m^3/h]	43±2 x10^3
Výpočtová teplota v reaktoru [^0C]	350
Výpočtová životnost tělesa TN	40 let
Hydraulický odpor reaktoru [MPa]	0,255 - 0,344



Obr. 57. Víko tlakové nádoby



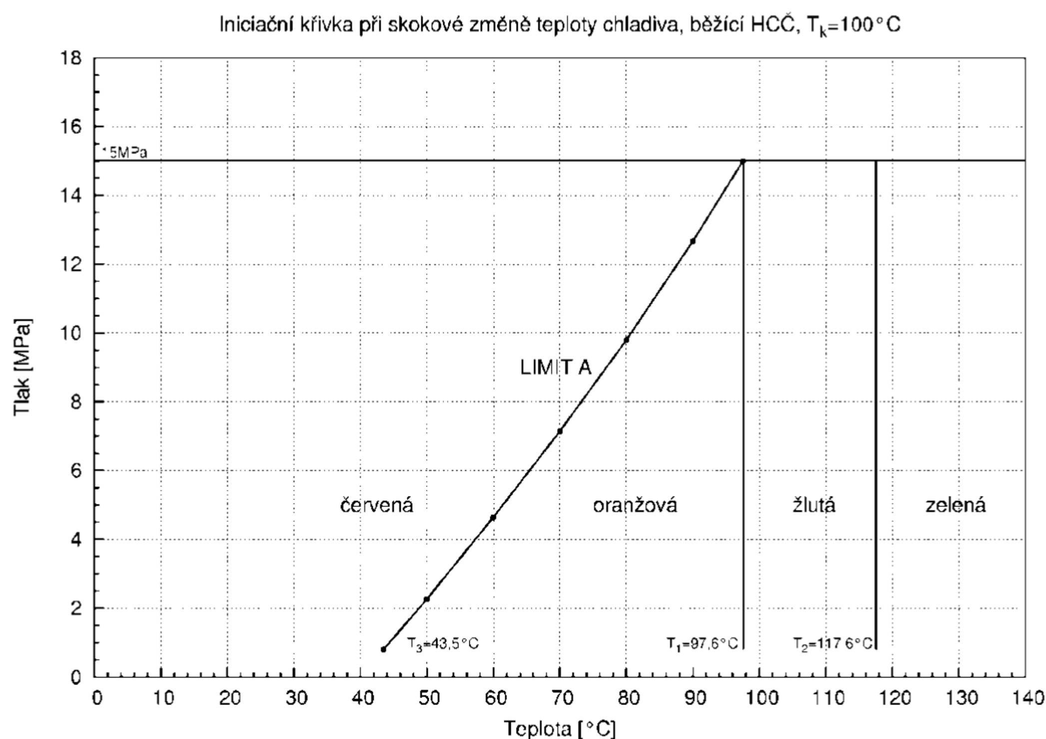
Obr. 58. Těleso tlakové nádoby

5.3.2 Limitní hodnoty tlaku a teploty

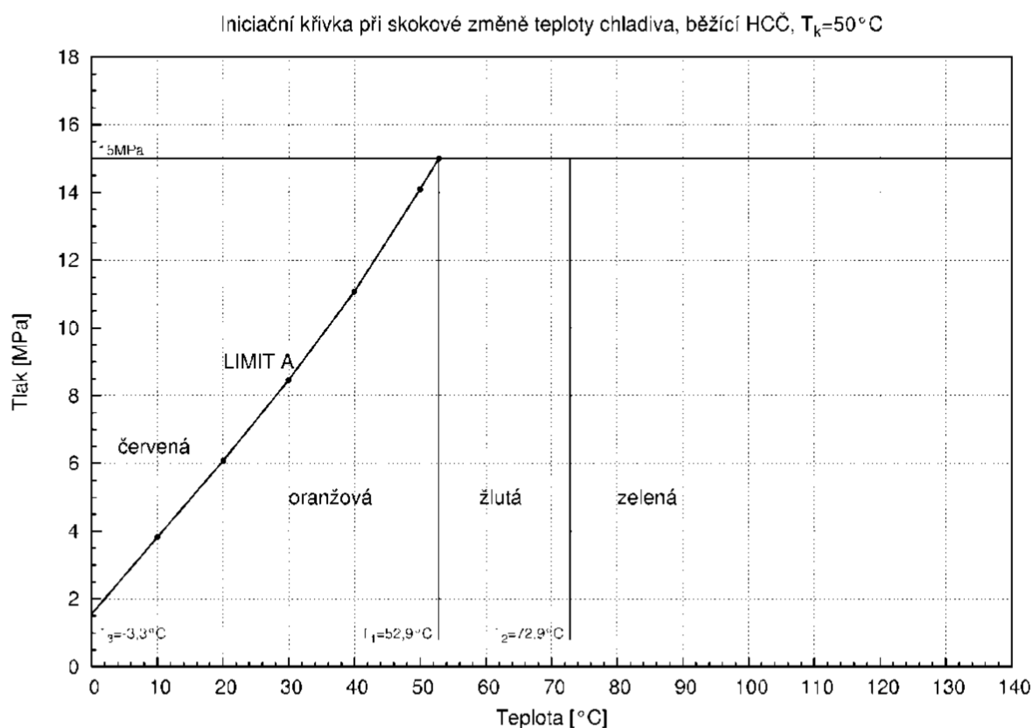
Pro TNR bloků EDU1-4 byly dle metodiky firmy Westinghouse vypočítány provozní limitní křivky (p-T křivka). Základními provozními limitními křivkami jsou:

- Iniciační křivka při konstantní teplotě chladiva
- Iniciační křivka při skokové změně teploty chladiva
- Iniciační křivky pro normální provozní podmínky pro náhřev a pro vychlazování

Provozní limitní křivky slouží k optimalizaci provozu reaktoru a optimalizaci zásahů operátora z hlediska zajištění integrity tlakové nádoby reaktoru (TNR).



Obr. 59. **Iniciační křivka při skokové změně teploty chladiva EDU1**



Obr. 60. **Iniciační křivka při skokové změně teploty chladiva EDU2-4**

5.3.3 Integrita tlakové nádoby

Posouzení integrity TNR v sobě zahrnuje:

- disponibilitu průkazu odolnosti TNR vůči křehkému porušení.
- posouzení výsledků provozních nedestruktivních kontrol TNR.

5.3.4 Spolehlivost systému

V průběhu provozu došlo k následujícím poruchám:

Netěsnost na horním bloku reaktoru (1.blok - 14.3.1991): Blok byl odstavený a vychlazený na opravu netěsností dvou kanálů MNT. Korozním působením kyseliny borité na opěrné matice kanálů došlo k poškození těsnění.

Netěsnost horního bloku reaktoru (1.blok - 17.-23.2.1992): Při provozu na výkonu byla zjištěna zvýšená aktivita aerosolů v cirkulačních ventilačních systémech v šachtě reaktoru. Příčinou byly netěsnosti na odvzdušnění reaktoru a koroze spodního závitu svorníku pouzdra pohonů HRK kvůli deformaci těsnění.

Dalšími poruchami na všech blocích, které neměly vliv na bezpečnost provozu, byly opakované pády drobných předmětů do reaktoru při výměně paliva a souvisejících činnostech a opakované přelití dělící roviny reaktoru resp. dělící roviny pohonů HRK při demontáži reaktoru během GO. Důvodem bylo selhání lidského faktoru. U přelití dělících rovin (11,92 m) měl vliv i ne zcela vhodný způsob měření hladiny reaktoru resp. bazénu výměny paliva ve stavech s roztěsněným reaktorem, kdy operátor neměl přímou informaci o hladině v reaktoru mimo úzkou oblast měření kolem připojení nátrubku horké větve k reaktoru (10,02 m) a měření celkové hladiny v kompenzátoru objemu (od 13,6 m). Tento nedostatek byl odstraněn TŘ B14-156-90-002/3 - "Měření hladiny v reaktoru za odstávky".

5.3.5 Projektové předpoklady pro životnost TNR

Životnost TNR je výpočtově stanovena projektem na minimálně 40 let a je v zásadě závislá na dvou degradačních mechanizmech:

- radiační poškození

Tato hodnota byla stanovena na základě následujících předpokladů:

- výchozí kritická teplota křehkosti svarového kovu není vyšší než + 20 °C
- maximální dovolená kritická teplota křehkosti pro havarijní režimy byla stanovena odhadem na cca + 100 °C
- z výpočtů aktivní zóny a pole neutronů uvnitř TNR byly obdrženy hodnoty fluence neutronů s energií větší než 0,5 MeV v základním kovu na úrovni středu aktivní zóny rovné $3{,}23.10^{24}$ m^{-2} a v prvním svaru pod středem aktivní zóny o tloušťce 140 mm rovné $2{,}48.10^{24}$ m^{-2}

Z těchto předpokladů při tehdy známém koeficientu radiačního zkřehnutí A_F svarového kovu (= 13) byla tato životnost 40 let potvrzena.

- únavové poškození

Z hlediska únavového poškození TNR hraje hlavní roli vliv nízkocyklového poškození, které je z tohoto důvodu sledováno a periodicky vyhodnocováno.

5.3.6 Hodnocení životnosti z hlediska křehkého porušení

Pro hodnocení životnosti TNR z hlediska křehkého porušení je použit následující postup:

- stanovení maximálně dovolených hodnot kritické teploty křehkosti materiálů TNR, zvláště při nehodách typu PTS
- stanovení velikosti neutronové fluence dopadající na stěnu TNR včetně jejího trendu po celou dobu projektové životnosti
- stanovení odolnosti materiálů proti křehkému porušení, což se zpravidla soustřeďuje na stanovení velikosti radiačního poškození, především zkřehnutí materiálů TNR včetně jeho trendu po celou dobu projektové životnosti

- posouzení přípustnosti indikací zjištěných v TNR během předprovozní prohlídky i provozních prohlídek

Hodnocení životnosti je prováděno podle postupu NTD ASI, Sekce IV, vypracovaného experty zemí provozujících reaktory typu VVER a schváleného SÚJB pro použití při hodnocení zbytkové životnosti zařízení VVER.

5.3.6.1 Výsledky hodnocení nehod typu PTS

Pro hodnocení životnosti TNR je třeba znát meze, kterých může degradace materiálů TNR dosáhnout, aniž by byla ohrožena integrita TNR i v případě nejnepříznivější nehody. Jde především o události typu tlakově-teplotní šok (Pressurised Thermal Shock – PTS). Při této události dochází k rychlému ochlazování chladiva v primárním okruhu, zejména v sestupné šachtě reaktoru, k následnému ochlazování stěny TNR a tím ke vzniku teplotních napětí ve stěně TNR zatížené současně vnitřním přetlakem.

Cílem analýz PTS je stanovení maximální přípustné kritické teploty křehkosti materiálu TNR, která určuje teplotu, při které ještě nedojde k iniciaci náhlého lomu.

V průběhu let 1996 – 2004 bylo pro TNR EDU analyzováno celkem 40 scénářů nehod typu PTS.

Výsledná hodnota maximální přípustné kritické teploty křehkosti T_k^a pro všechny nehody PTS pro JE Dukovany se zvýšeným výkonem je 114,9 °C a je vyhovující z hlediska projektové hodnoty T_k pro konec životnosti TNR i z hlediska hodnot T_k predikovaných pro 40 let provozu TNR na základě vypočtených a predikovaných hodnot fluencí neutronů a trendových křivek křehnutí materiálů TNR stanovených na základě výsledků programu svědečných vzorků.

5.3.6.2 Stanovení trendů neutronové zátěže TNR

Hlavním zdrojem radiačního poškození materiál. TNR je neutronová zátěž. Minimální energie neutronů, které se pro hodnocení berou v úvahu je definována na 0,5 MeV.

Velikost toku neutronů, dopadajícího na stěnu TNR, je nutno stanovit výpočtem na základě kartogramů paliva a provozu bloku během celé jeho životnosti. Kontrolními hodnotami jsou velikosti fluence neutronů, stanovené na svědečných vzorcích a velikosti fluence neutronů, měřené na vnější stěně TNR.

Detailní výpočet velikosti neutronové zátěže TNR pro jednotlivé kampaně byl proveden pro počet uzavřených kampaní do konce roku 2014 a na základě dosaženého trendu byl potom proveden odhad fluence neutronů pro 80letou životnost TNR.

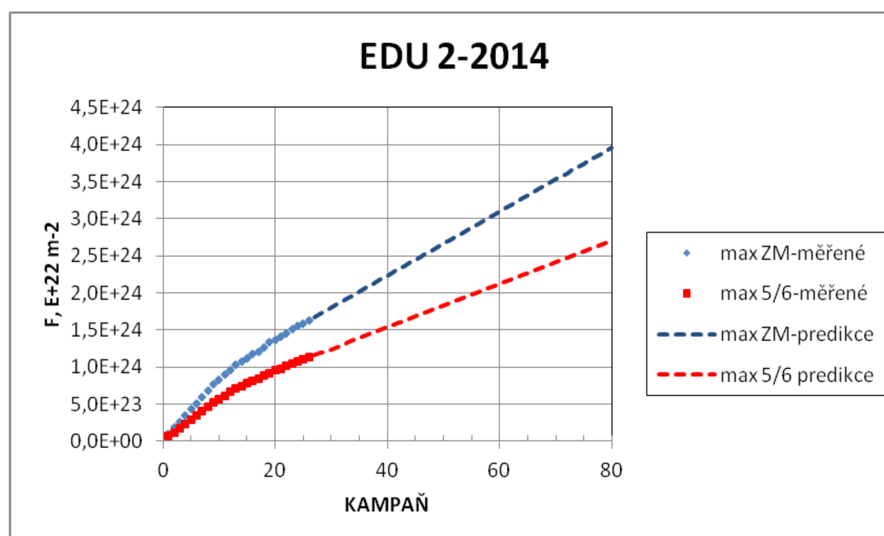
Hlavní dosažené výsledky jsou závislost fluence na době provozu pro rozhraní austenitického návaru a základního/svarového kovu svaru č. 5/6. Při plánovaném provozu budou fluence za 40 let rovny hodnotám uvedeným v Tabulka 2.

Tabulka 2: Fluence neutronů za 40 let provozu na jednotlivých TNR

TNR	Měřené místo zátěže	Fluence F_{40y}^{provoz} [m^{-2}]
TNR 1	základní materiál (střed aktivní zóny reaktoru)	2,37E+24
	svarový spoj (svar 5/6)	1,63E+24
TNR 2	základní materiál (střed aktivní zóny reaktoru)	2,23E+24
	svarový spoj (svar 5/6)	1,54E+24

TNR 3	základní materiál (střed aktivní zóny reaktoru)	2,37E+24
	svarový spoj (svar 5/6)	1,64E+24
TNR 4	základní materiál (střed aktivní zóny reaktoru)	2,26E+24
	svarový spoj (svar 5/6)	1,55E+24

Projektová hodnota pro základní materiál (střed aktivní zóny reaktoru) je $F_{40y}^{projekt} = 3{,}24\ E{+}24\ m^{-2}$ a pro svarový spoj 5/6 je $F_{40y}^{projekt} = 2{,}48\ E{+}24\ m^{-2}$.



Obr. 61. Závislost fluence neutronů na době provozu TNR EDU2

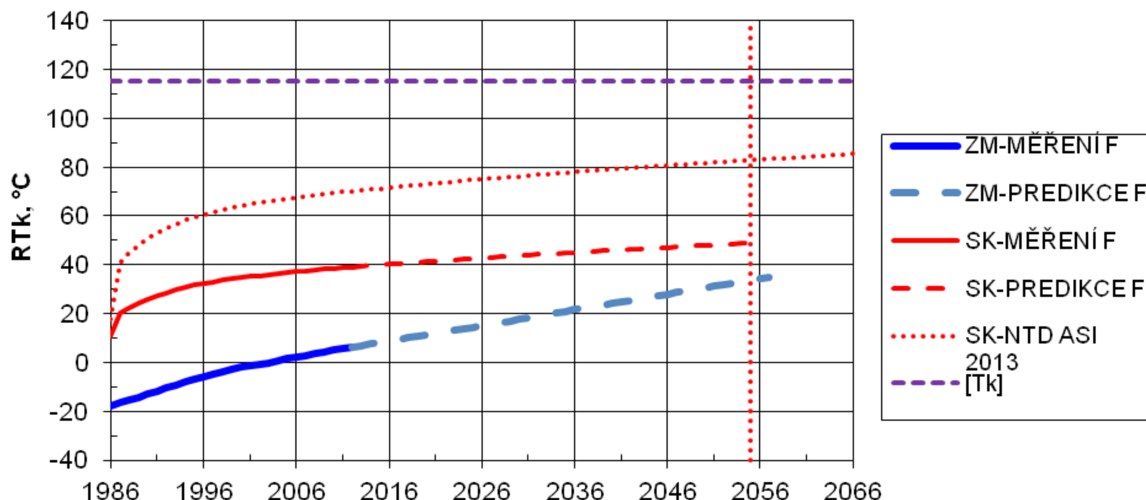
5.3.6.3 Hodnocení odolnosti materiálů TNR proti křehkému porušení

Základním parametrem hodnocení odolnosti materiálů TNR proti křehkému porušení je kritická teplota křehkosti, T_k, °C. Její hodnota je během provozu dána součtem výchozí kritické teploty křehkosti před zahájením provozu (T_{k0}), posunu kritické teploty křehkosti vlivem ozáření (ΔT_F), posunu kritické teploty křehkosti vlivem tepelného stárnutí (ΔT_T) a posunu kritické teploty křehkosti vlivem únavového poškození (ΔT_N). Tedy:

$$T_k = T_{k0} + \Delta T_F + \Delta T_T + \Delta T_N$$

Velikost radiačního zkřehnutí materiálů TNR byla stanovena z výsledků zkoušek vrubové houževnatosti rázem zkušebních těles jak ze Standardního programu svědečných vzorků (SSP), tak i z Doplňkového programu svědečných vzorků (DSP) a Prodlouženého programu svědečných vzorků (PSP). Tyto zkoušky slouží jen ke stanovení posunů kritické teploty křehkosti jednotlivých materiálů vlivem ozáření – vzhledem k malému počtu zkušebních těles v jednom souboru (maximálně 12) není možno stanovit kritickou teplotu křehkosti standardním způsobem. Kriteriem pro stanovení posunu kritické teploty křehkosti (teplotní závislosti vrubové houževnatosti rázem) byla hodnota KV = 50 J.

Trendy kritické teploty křehkosti v závislosti na fluenci jsou sestrojeny na základě výsledků zkoušek vrubové houževnatosti při jednotlivých fluencích a predikce časového trendu růstu neutronového fluence. Výsledek tohoto hodnocení pro reaktor EDU2 je uveden na následujícím obrázku. Na grafu je také zobrazena maximálně přípustná kritická teplota křehkosti [Tk].



®

Obr. 62. Porovnání dosažených výsledků zkoušek svědečných vzorků a vypočtených fluencí neutronů na stěnu TNR EDU2

5.3.6.4 Závěr k životnosti TNR

Hodnocení životnosti TNR bloku 1

Základní materiál díky své nízké výchozí kritické teploty křehkosti (Tk0 = -50°C) a relativně mírnému trendu radiačního zkřehnutí vykazuje dostatečnou odolnost proti náhlému porušení po dobu nejméně 80 let provozu při současném způsobu provozování.

V případě svarového kovu je situace poněkud horší, ale i přes vysokou výchozí kritickou teplotu křehkosti (Tk0 = +16°C) se současným vyšším trendem radiačního zkřehnutí vykazuje, dle současných dostupných údajů ze zkoušek DSP, není životnost omezena, alespoň do roku 2036.

Další nezbytné informace o radiačním zkřehnutí obou materiálů je nutné zajistit v rámci Prodlouženého programu svědečných vzorků, aby bylo možno sestrojit platné trendové křivky radiačního zkřehnutí i pro vyšší fluence, odpovídající prodloužené životnosti TNR.

Hodnocení životnosti TNR bloku 2

Základní materiál díky své nízké výchozí kritické teploty křehkosti (Tk0 = -28°C) a relativně mírnému trendu radiačního zkřehnutí vykazuje dostatečnou odolnost proti náhlému porušení po dobu nejméně 80 let provozu při současném způsobu provozování.

V případě svarového kovu je situace obdobná: díky nízkému trendu radiačního zkřehnutí, který i přes poněkud vyšší výchozí kritické teplotě křehkosti (Tk0 = -5°C) dle současných dostupných údajů ze zkoušek DSP bude integrita TNR zajištěna i pro prodlouženou životnost.

Další nezbytné informace o radiačním zkřehnutí obou materiálů je nutné zajistit v rámci Prodlouženého programu svědečných vzorků, aby bylo možno sestrojit platné trendové křivky radiačního zkřehnutí i pro vyšší fluence, odpovídající prodloužené životnosti TNR.

Hodnocení životnosti TNR bloku 3

Základní materiál díky své nízké výchozí kritické teploty křehkosti (Tk0 = -36°C) a relativně mírnému trendu radiačního zkřehnutí vykazuje dostatečnou odolnost proti náhlému porušení po dobu nejméně 80 let provozu při současném způsobu provozování.

V případě svarového kovu je situace obdobná: díky nízkému trendu radiačního zkřehnutí, který i přes poněkud vyšší výchozí kritické teplotě křehkosti (Tk0 = -8°C) dle současných dostupných údajů ze zkoušek DSP bude integrita TNR zajištěna i pro prodlouženou životnost.

Další nezbytné informace o radiačním zkřehnutí obou materiálů je nutné zajistit v rámci Prodlouženého programu svědečných vzorků, aby bylo možno sestrojit platné trendové křivky radiačního zkřehnutí i pro vyšší fluence, odpovídající prodloužené životnosti TNR.

Hodnocení životnosti TNR bloku 4

Základní materiál díky své nízké výchozí kritické teploty křehkosti (Tk0 = -40°C) a relativně mírnému trendu radiačního zkřehnutí vykazuje dostatečnou odolnost proti náhlému porušení po dobu nejméně 80 let provozu při současném způsobu provozování.

V případě svarového kovu je situace obdobná: díky nízkému trendu radiačního zkřehnutí, který i přes poněkud vyšší výchozí kritické teplotě křehkosti (Tk0 = -8°C) dle současných dostupných údajů ze zkoušek DSP bude integrita TNR zajištěna i pro prodlouženou životnost.

5.4 Návrh subsystémů a komponent

5.4.1 Hlavní cirkulační čerpadla

5.4.1.1 Účel systému

Hlavní cirkulační čerpadlo (HCČ) je klíčovou součástí primárního okruhu. Zajišťuje pomocí nucené cirkulace chladiva primárního okruhu přenos tepelné energie z aktivní zóny reaktoru do teplosměnné plochy v parogenerátoru. V souladu s tepelným výkonem reaktoru zajišťuje ve všech provozních režimech bloku potřebné průtočné množství chladiva aktivní zónou reaktoru. V primárním okruhu jednoho reaktorového bloku je nainstalováno 6 hlavních cirkulačních čerpadel. HCČ je umístěno vždy na studené větvi hlavního cirkulačního potrubí mezi parogenerátorem a hlavní uzavírací armaturou. Chladivo je nasáváno hlavním cirkulačním čerpadlem z parogenerátoru a je vytlačováno do tlakové nádoby reaktoru.

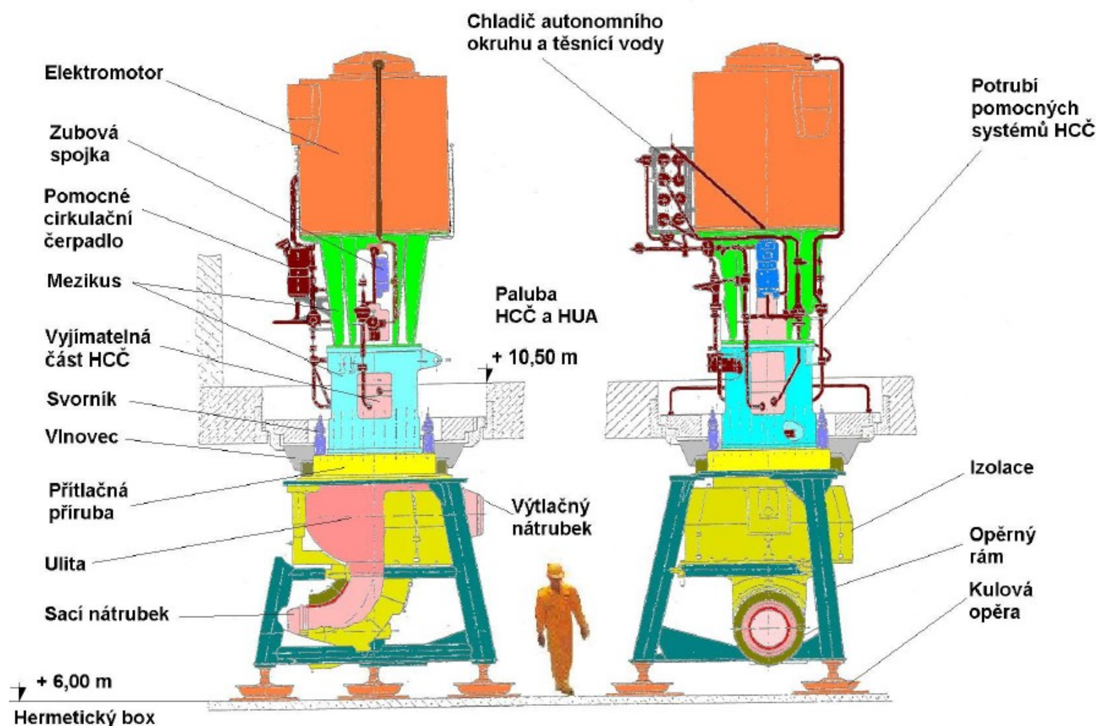
5.4.1.2 Koncepce projektového řešení

Hlavní cirkulační čerpadlo (HCČ) typu GCN-317 je navrženo jako vertikální, odstředivé, jednostupňové čerpadlo s mechanickou rotační ucpávkou hřídele, letmo uloženým oběžným kolem, axiálním přívodem čerpané kapaliny, vnějším asynchronním elektromotorem a pomocnými systémy, zabezpečujícími normální práci HCČ. Přírubová hrdla čerpadla na sání a výtlaku jsou přivařena k hlavnímu cirkulačnímu potrubí.

HCČ a jeho pomocné systémy jsou rozmístěny v kontejnmentu v hermetické zóně a části mimo hermetickou zónu v částečně obsluhovaném prostoru, na podlažích + 6,0 m a +10,5 m. Hydraulická část (těleso čerpadla s oběžným kolem) je umístěna v neobslužném prostoru (boxu PG) na podlaží + 6,0m.Elektromotor včetně odlehčovacího zařízení, ucpávek, spojky, pomocného čerpadla, chladiče těsnící ucpávkové vody, chladiče autonomního okruhu, chladiče vzduchu elektromotoru a odstředivého separátoru jsou umístěny v částečně obslužném prostoru na podlaží + 10,5m.

Tab. 31. Parametry HCČ

Parametr	jednotka	hodnota
Typ GCN - 317	-	-
Dopravní množství	$m^3.hod^{-1}$	7100
teplota	°C	20 ÷ 270
Tlak na sání	MPa (přetl.)	12,177
Dopravní výška (Δ p)	MPa	0,415 ± 0,025
Počet otáček (synchronních)	$ot.min^{-1}$	1500
Příkon potřebný k práci s horkým chladivem I.O.	MW	1,4
Příkon potřebný k práci se studeným chladivem I.O.	MW	1,6
Směr otáčení při pohledu shora	-	vpravo
Organizovaný tlakový únik za hlavními stupni ucpávek HCČ	$m^3.hod^{-1}$	0,3 ÷ 2,0
Únik těsnící vody do I.O.	$m^3.hod^{-1}$	0,0 ÷ 0,4
Organizovaný beztlakový únik za koncovým stupněm ucpávky HCČ	$m^3.hod^{-1}$	0,0 ÷ 0,05
Hydraulický odpor VO HCČ	MPa	max. 0,245
Průtok oleje pro mazání ložisek (včetně elmotoru) z toho na elektromotor	$m^3.hod^{-1}$ $m^3.hod^{-1}$	15 3
Moment setrvačnosti rotoru agregátu (čerpadla s elektromotorem) Z toho moment setrvačnosti rotoru čerpadla	$kg.m^{-2}$ $kg.m^{-2}$	≥ 1025 ≤ 25
Výpočtové napětí na pevnost	MPa	13,73
Výpočtová teplota	°C	335



Obr. 63. Hlavní cirkulační čerpadlo

5.4.1.2.1 Konstrukce HCČ

Celou sestavu hlavního cirkulačního čerpadla je možné rozdělit na hydraulickou část zahrnující těleso čerpadla s vyjímatelnou částí HCČ a elektromotor s pomocnou technologií.

Hydraulická část

Na opěrný rám se osazuje svařované těleso hydraulické části čerpadla s tepelnou izolací, do které se montuje vlastní část čerpadla.

Vyjímatelná část HCČ se skládá z:

- hřídele,
- oběžného kola,
- převodního kola,
- přítlačné příruby,
- soustavy těsnění,
- nosného axiálního ložiska,
- elektromagnetického odlehčovacího zařízení,
- zarážejícího soustrojí,
- pomocného oběžného kola.

Hřídel se otáčí ve dvou radiálních ložiskách. Horní radiální ložisko je mazané a chlazené olejem olejového hospodářství HCČ a je spojené s nosným axiálním ložiskem. Spodní radiální ložisko je mazané a chlazené vodou autonomního okruhu. Hřídel HCČ je celokovaný. Na obou koncích jsou evolventní drážky pro osazení oběžného kola a hřebene nosného axiálního ložiska. Pro částečné odlehčení hřídele od radiálních sil se provádí dynamické vyvážení hřídele spolu s rotujícími částmi na něm uloženými.

Oběžné kolo je uzavřeného typu s lopatkami dvojité křivosti, provedené jako odlitek. Náboj oběžného kola 3 je na hřídel nasazený bez vůle, nezávisle na teplotě okolního prostředí. Oběžné kolo se upevňuje na hřídel pomocí dvou evolventních drážek a v osovém směru maticí s proudnicovým krytem.

Přítlačná příruba s těsnícími prvky hlavní dělící roviny slouží jako víko tělesa HCČ. Hermetičnost je zajištěná těsněním. Dotažení hlavní dělící roviny se provádí šrouby přes svazek talířových pružin, které zajišťují hermetičnost spoje v různých teplotních režimech práce HCČ. Dotažení šroubů je určeno jejich prodloužením.

Blok těsnění hřídele: Mechanické těsnění hřídele je určené pro zabránění úniku chladiva I.O z HCČ. Mechanické těsnění se skládá z tělesa, které je spojené s tělesem spodního radiálního ložiska, dvou základních škrtících stupňů hydrostatického typu, rozdělovacího stupně čelného typu, koncového stupně čelného typu a radiálního ložiska. Základní škrtící stupně těsnění hydrostatického typu jsou shodné a jsou sestrojené ze statorové a rotorové části.

Spodní radiální ložisko je určené pro přenášení radiálních sil a je spodní oporou hřídele. Ložisko je zhotovené z grafito-teflonové lisované hmoty, ve které se otáčí hřídel, na kterém je nasazená vložka, provedená z ocele s povrchovou tepelnou úpravou. Ložisko se maže a chladí cirkulující vodou autonomního okruhu HCČ.

Nosné axiální ložisko - osové a radiální síly působící na hřídel HCČ se zachytávají nosným axiálním ložiskem, provedeným jako samostatná podsestava. V tělese nosného axiálního ložiska jsou osazeny dva opěrné kroužky. Vrchní opěrný kroužek zachytává osové síly působící nahoru a spodní opěrný kroužek zachytává osové síly působící směrem dolů.

Radiální síly se zachytávají radiálním ložiskem, které má válcovou vložku vylitou kompozicí. Centrování radiálního ložiska je provedeno úzkým prstencovým nákružkem, který zabezpečuje samonastavitelnost podle čepu opěrného hřebenu. Proti posunutí je radiální ložisko zabezpečené dvěma radiálními kolíky. Mazání ložiska se provádí tlakovým turbinovým olejem. Tlak oleje se škrtí na atmosférický tlak v odpadu z dutiny ložiska vůlí v radiálním ložisku do horní komory a vůlí ve spodním labyrintu do dutiny nad podložkou 6 a přes clonu do odpadní nádrže. Všechen olej se odvádí společným odpadem.

Elektromagnetické odlehčovací zařízení zajišťuje spuštění elektromotoru čerpadla HCČ při tlaku v I.O p = 8,0 MPa a vyšším též pro ulehčení činnosti axiálního ložiska při normálním zatížení Odlehčovací zařízení vytváří na rotoru dolů směřující sílu 150 - 200 kN. Elektromagnetické odlehčovací zařízení se skládá z odlehčovacího kotouče, tělesa a cívky. Elektromagnet je napájený stejnosměrným proudem 220 V. Napájení je přivedené na svorkovnici umístěné na tělese elektromagnetu. Ve svorkovnici je paralelně k vinutí připojená dioda pro ochranu vinutí proti překročení napětí na dobu vypnutí elektromagnetu.

Zarážecí zařízení: Za účelem zabránění zpětného otáčení hřídele HCČ při odstavení a v rezervě je nad elektromagnetickým odlehčovacím zařízení namontované zarážecí zařízení, které je rohatkového mechanismu. Po spuštění HCČ se palce odstředivou silou vysmeknou ze spojení s rohatkovým kroužkem na odlehčovacím kotouči. Při zastavení HCČ, palce vlivem vlastní váhy zapadnou do ozubeného rohatkového kroužku a tím zasmeknou hřídel HCČ proti zpětnému otáčení.

Zubová spojka: Kroutící moment z rotoru elektromotoru HCČ se přenáší prostřednictvím zubové spojky evolventního profilu na hřídel vlastního čerpacího agregátu. Spojka se skládá ze dvou ozubených vložek. Jedna ozubená vložka je na rotoru elektromotoru, druhá ozubená vložka na axiálním hřebenu nosného axiálního ložiska. Ozubené vložky jsou vzájemně spojené ozubenou objímkou se dvěma ozubenými věnci. Pro zabezpečení normální funkce spojky je použito mazivo.

Opěrný rám: Čerpadlo se přírubou tělesa upevňuje na opěrný rám. Opěrný rám je svařovaná konstrukce, opírající se o tři kulové opory. To umožňuje HCČ a všem pomocným podsestavám pohyb v jakémkoliv horizontálním směru o 70 mm. Pohyblivost opěrného rámu prakticky vylučuje působení sil z tepelných dilatací I.O na nátrubky HCČ, reaktoru a též na hlavní cirkulační potrubí. Opěry umožňují regulaci výšky ± 50 mm a mají speciální zařízení na ochranu proti vlhkosti a znečištění.

Elektromotor

Elektromotor HCČ je asynchronní, třífázový, s kotvou na krátko, typu AVC l600-l500 U5.

Označení typu motoru se provádí následovně:

A - asynchronní

V - vertikální

C - pro pohon GCN

1600 - nominální výkon, kW

1500 - frekvence rotace (synchr.) za min

U5 - klimatické provedení a kategorie umístění

Motor je vyrobený v klimatickém provedení typu U podle GOST 15150-69 a je určený pro práci v hermetickém prostředí. Motor je vertikální, v krytém provedení s uzavřeným okruhem chlazení vzduchu Způsob provedení motoru M302 podle GOST 2479-65.

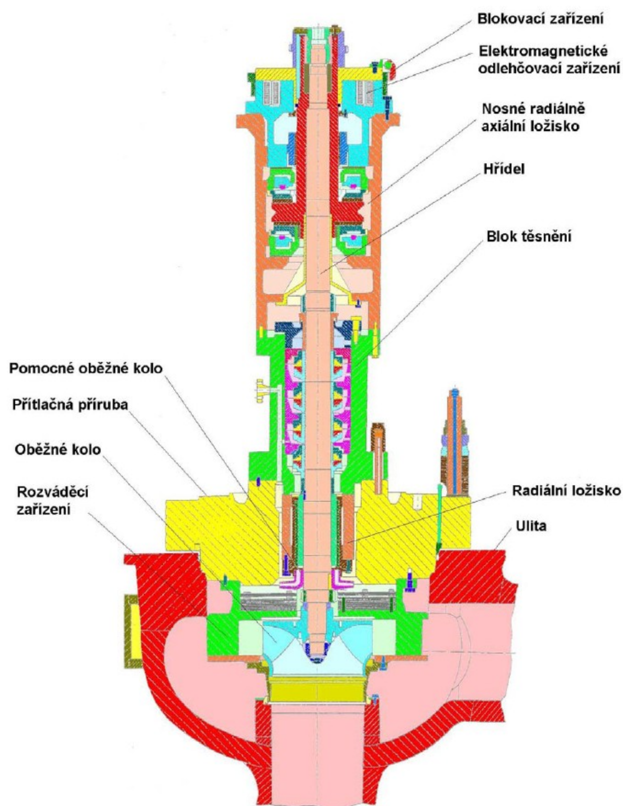
Těleso statoru je svařované, nerozebíratelné, s vnitřními soustruženými drážkami pro osazení jádra statoru v žebrech. V tělese jsou dva výklenky pro umístění chladiče vzduchu. Na horním kole tělesa jsou navařené čtyři oka, sloužící ke zvedání jak pláště, tak i celého motoru. Jádro statoru je montované z listů elektrotechnické ocele o síle 0,5 mm, pokrytých elektroizolačním lakem. Na vnitřním průměru jádra jsou otevřené drážky pro uložení vinutí. V "zádech" jádra jsou tři řady axiálních kanálů pro průchod chladícího vzduchu. Jádro je stažené sponami, které jsou přivařené k sestavenému jádru a přítlačným kroužkům na čele jádra. Vinutí statoru je cívkové, dvouvrstvé, očkové. Je zapojeno do hvězdy. Izolace vinutí statoru je třídy tepelné odolnosti "V" podle normy GOST 8865-70, vývody vinutí jsou vyvedené na izolátory a namontované na tělese motoru. Vinutí je upevněné v drážkách sklotextilovými klíny. Čelní části vinutí se upevňují k válcovým kroužkům a konzolám.

Rotor se skládá z jádra, hřídele, vinutí spojeného nakrátko, pouzdra ložiska, setrvačníku s ventilátorem. Jádro je sestavené z listů elektrotechnické ocele o síle 0,5 mm. Listy jsou pokryté elektroizolačním lakem. Osazení jádra na hřídeli je provedené s přesahem, který zabezpečuje spojení při všech režimech práce motoru. Na čelních koncích jsou přítlačné kroužky, které udržují jádro na hřídeli v nalisovaném stavu. Hřídel je vykovaná z ocele dle GOST 1050--74.

Vinutí rotoru je z mědi, skládá se z trnu (jádra) a kroužků spojených nakrátko. Trny lichoběžníkového průřezu jsou uložené do drážek jádra a zaklíněné po délce ocelovými čelními klíny. Nakrátko spojené kroužky mají na vnitřním průměru drážky, do kterých zapadají trny. Spojení trnů s kroužky nakrátko je provedené měděnofosforitou pájkou PMP-7. Na horním konci hřídele je objímka (hlava) patního ložiska. V dolní části hřídele je osazený nalisovaný setrvačník. K setrvačníku je namontovaný odstředivý ventilátor, který zajišťuje samoventilaci motoru v uzavřeném (vzduchovém) okruhu.

Ložiska motoru - ložiskové štíty jsou svařené ze silnostěnné ocele. Štíty se skládají z hlavní části a kroužků, spojených mezi sebou vyztuženými žebry. Konstrukce horního štítu je vypočítaná na únosnost hmoty motoru. Centrální část horního štítu je vodícím tělesem patního ložiska. Patní ložisko se skládá ze šesti segmentů, které jsou uložené v objímce s kulatým povrchem, která je uložená v centrální části štítu. Vodící ložisko (horní i dolní) se skládá ze šesti pánví zalitých babbitem B-83. Vodící ložiska přenášejí zatížení z jednostranného magnetického tahu ke statoru. Radiální vůle se reguluje opěrnými šrouby. Vůle v ložiskách je při montáži 0,15-0,03 mm.

Systém mazání ložisek je nucený z olejového hospodářství HCČ. Na horním ložiskovém štítě je osazená svařovaná nádrž o objemu 40 l. Při normální práci motoru se v nádrži hromadí zásoba oleje, který zajišťuje mazání patního ložiska v čase 15 s přerušení dodávky oleje nebo při doběhu motoru po dobu 3 minut.



Obr. 64. Hlavní cirkulační čerpadlo - řez

5.4.1.2.2 Pomocné systémy HCČ

Na hlavní cirkulační čerpadlo navazují pomocné systémy HCČ:

- Systém autonomního okruhu HCČ.
- Systém vloženého okruhu.
- Systém ucpávkové vody.
- Systém olejového hospodářství HCČ.

Systém autonomního okruhu HCČ

Systém autonomního okruhu HCČ je určený ke chlazení a mazání spodního radiálního ložiska. Při chodu HCČ se voda autonomního okruhu přečerpává pomocným kolem na hřídeli HCČ pod spodním radiálním ložiskem. Takové umístění pomocného kola slouží jako doplňující bariéra proti vniknutí horké vody z I.O. do spodního radiálního ložiska.

Voda autonomního okruhu se chladí v chladiči autonomního okruhu vodou vloženého okruhu HCČ. Při odstavení HCČ a po dobu rezervy HCČ je cirkulace vody autonomního okruhu zajištěna pomocným cirkulačním čerpadlem. Při chodu HCČ se pomocné čerpadlo automaticky vypíná.

Systém vloženého okruhu HCČ

Voda voženého okruhu HCČ se přivádí na chladič těsnící vody, chladič elektromotoru HCČ, chladič autonomního okruhu. Systém vloženého okruhu je dále popsán v kapitole vložených okruhů této zprávy.

Systém ucpávkové vody HCČ

Systém těsnící vody zajišťuje zahlcování ucpávek HCČ čistou demivodou. Tím je zajištěna těsnost systému a je zabráněno možnosti šíření radioaktivních látek mimo tlakovou hranici I. O.

Systém olejového hospodářství HCČ

Systém olejového hospodářství zajišťuje dodávku mazacího oleje k ložiskům HCČ a ložiskům elektromotoru HCČ. Součástí systému jsou čerpadla, chladiče a zásobní nádrž. Systém je chlazen systémem technické vody důležité.

5.4.1.3 Provoz systému

Hlavní cirkulační čerpadla zajišťují pomocí nucené cirkulace chladiva primárního okruhu přenos tepelné energie a aktivní zóny reaktoru do teplosměnné plochy v parogenerátoru. V souladu s tepelným výkonem reaktoru zajišťují ve všech provozních režimech bloku potřebné průtočné množství chladiva aktivní zónou reaktoru.

Nominální provoz HCČ a jeho pomocných zařízení zahrnuje všechny stavy zařízení při dodržování provozních limitů a podmínek pro jeho bezpečný provoz. Pod „nominální" se rozumí provoz HCČ v režimu:

- Nominální režim JB (na výkonu R).
- V režimu náběhu JB po výměně paliva v R.
- V režimu plánovaného odstavení JB.

5.4.1.4 Bezpečnostní požadavky na systém

HCČ je nezbytně nutné zařízení pro udržení provozu bloku na výkonu, kdy zabezpečuje odvod tepla z reaktoru. Vyjma zachování své integrity však neplní žádnou z bezpečnostních funkcí.

Systému chlazení těsnění HCČ se týkalo doporučení IAEA, kde jako problém bylo označeno riziko úniku chladiva reaktoru přes ucpávky HCČ na palubu HCČ a tím nedostupnost uniklé vody pro recirkulační fázi havarijního chlazení aktivní zóny reaktoru.

Na EDU je tento problém vyřešen dvěmi cestami:

Jedna spočívá v zabránění úniku primární vody přes ucpávky HCČ použitím nových těsnících kroužků. Tyto nové těsnící kroužky jsou vyrobeny z fluoridované pryže s dlouhodobou teplotní odolností. Na základě zkoušek gumových těsnění HCČ při provozních parametrech p=12.25 MPa, t=240 0C se ukázalo, že po 8 hodinách testů nevykázala těsnění žádné závažné poškození, takže splňují kladené nároky.

Druhé opatření spočívá v realizaci modifikace pro pasivní drenáž případně uniklé primární vody z paluby HCČ do boxu PG.

5.4.1.5 Zhodnocení provozu systému

V rámci prací při prověrce vlivu zvýšení výkonu na jednotlivá zařízení primárního okruhu a prověrce tepelných a hydraulických charakteristik primárního okruhu byl analyzován vliv stávajících HCČ na provoz bloku na zvýšeném výkonu. Současně byly provedeny analýzy a výpočty vycházející z nové minimální projektové hodnoty průtoku primárního chladiva na vstupu do reaktoru, který je 40 000 m^3h^{-1}.

Výsledkem těchto prací je potvrzení projektové funkce HCČ při práci na zvýšeném výkonu bloku a potvrzení, že i při nové minimální projektové hodnotě průtoku primárního chladiva nejsou dotčeny provozní limity HCČ.

Poruchovost sytému je na nízké úrovni a nevykazuje rostoucí trend. Čerpání životnosti je na nízké úrovni a vytváří předpoklad pro bezproblémový provoz systému pro dalších 10 let.

5.4.1.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

HCČ plní svou projektovou funkci a jsou schopny plnit veškeré požadavky na ně kladené. Umístění HCČ a jeho pomocných systémů splňuje požadavky bezpečnosti a

spolehlivosti provozu, vhodné přístupnosti jak pro údržbu, tak pro možné opravy. HCČ jsou pravidelně kontrolovány a zkoušeny jak za provozu, tak při najíždění bloku. Technické úpravy realizované po dobu provozu vytvářejí předpoklady spolehlivého provozu a jejich životnost se jeví jako dostatečná. Čerpání životnosti je na úrovni odpovídající době provozu a vytváří tak předpoklad bezpečného a bezproblémového provozu po dobu následujících 10 let.

5.4.2 Parogenerátory

5.4.2.1 Účel parogenerátoru

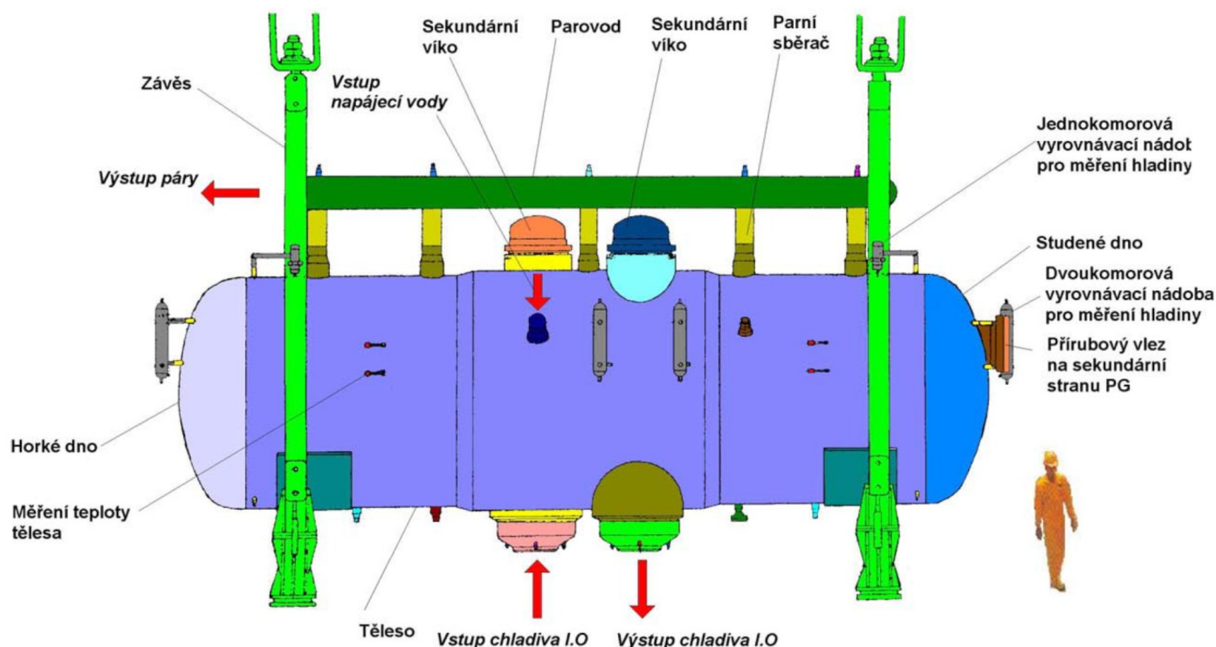
Parogenerátor je jednou z nejdůležitějších komponent primárního okruhu. Zajištuje přenos a vedení tepla chladícím médiem z primárního okruhu do sekundárního okruhu. Parogenerátor (parní generátor) je tedy tepelný výměník vyrábějící (generující) sytou páru pro parní turbínu. Jedná se o zařízení nezbytné pro udržení provozu bloku na výkonu, kdy zabezpečuje stálý odvod vzniklého tepla z reaktoru. Tepelná energie vzniká štěpením jaderného paliva v aktivní zóně reaktoru. S reaktorem je propojen hlavním cirkulačním potrubím.

Parogenerátor teplosměnnou plochou odděluje primární (aktivní) okruh a sekundární (neaktivní) okruh. Z hlediska principu hloubkové ochrany tvoří parogenerátor spolu s reaktorovou nádobou, hlavním cirkulačním potrubím a dalšími komponenty primárního okruhu III. fyzickou bariéru, tedy tlakovou hranici primárního okruhu.

5.4.2.2 Koncepce projektového řešení parogenerátoru

Parogenerátor je výměník tepla tvořený horizontální celosvařovanou jednoplášťovou válcovou tlakovou nádobou s dvěma eliptickými dny o délce 11,8 m a vnitřním průměru 3,21 m. Vnitřní část je tvořena ponořenou teplosměnnou plochou o celkovém povrchu 2620 m^2 sestávající z trubek ve tvaru U napojených na vstupní (horký) a výstupní (studený) kolektor chladícího média primárního okruhu. Vyrábí (generuje) 477 tun syté páry za hodinu o tlaku 4,75MPa a teplotě 260 °C. Jeden reaktorový blok obsahuje šest parogenerátorů připojených pomocí hlavního cirkulačního potrubí k reaktoru. Parogenerátory jsou umístěny v kontejnmentu v hermetické zóně v neobslužném prostoru boxu parogenerátorů v kobce A(B)201/1(2) na podlaží +6,0 m a všechny jsou zavěšeny na závěsech z důvodu zajištění volné tepelné dilatace potrubí (včetně lanových omezovačů proti posuvu vzhůru) v kruhu kolem šachty reaktoru. Plášť parogenerátoru obsahuje následující nátrubky přívodu napájecí vody, odvodu páry, odluhů a odkalů, nátrubky sekundárních kolektorů a také boční přírubový vlez do parogenerátoru o průměru 470 mm sloužící ke kontrolám či případně k opravám.

Parogenerátor je složen z těchto základních komponent: pláště parogenerátoru s nátrubky včetně bočního přírubového vlezu, kolektorů, trubkového teplosměnného svazku, vnitřní vestavby, pojistných ventilů parogenerátoru, pomocných a ostatních zařízení (např. závěsy a podpěry).



Obr. 65. Parogenerátor

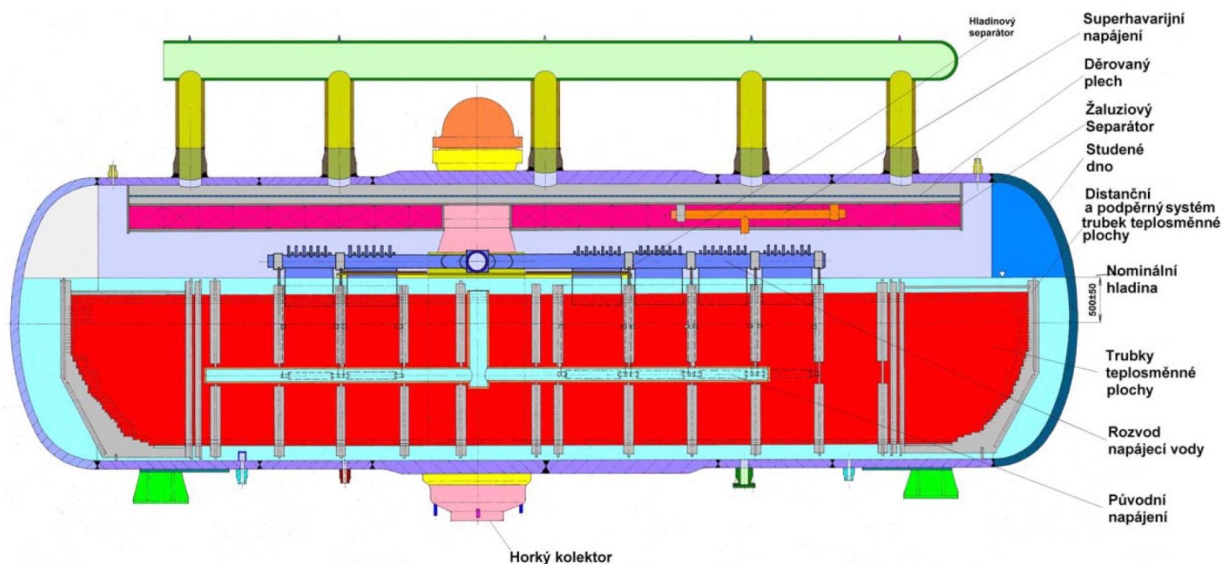
Ohřáté chladící médium primárního (aktivního) okruhu je přivedeno potrubím DN500 do „horkého“ kolektoru (viz Obr. 65. - Vstup chladiva I.O) v parogenerátoru, kde je následně rozváděno trubkovým teplosměnným svazkem, ve kterém předává teplosměnnou plochou teplo médiu (vodě) ze sekundárního (neaktivního) okruhu. Takto ochlazené chladící médium primárního okruhu vstupuje do „studeného“ kolektoru (viz Obr. 65. - Výstup chladiva I.O), odkud je dále hlavním cirkulačním potrubím čerpáno pomocí hlavních cirkulačních čerpadel zpět do reaktoru.

Napájecí voda sekundárního okruhu je potrubím DN250 přivedena pod hladinu vody v tělese parogenerátoru, kde je umístěn systém rozváděcích trubek. Vzniklá pára vystupující z plochy odpařováním se vysušuje v parním prostoru účinkem gravitačních sil a vstupuje do žaluziového separátoru, ve kterém je pára vysušena na potřebnou úroveň pro použití v parní turbíně. Ze žaluziového separátoru odchází vysušená pára děrovanými plechy a dále pěti parními nátrubky DN250 do kolektoru (sběrače) páry, odkud je parovodem vedena k parní turbíně. Parovody všech parogenerátorů jsou propojeny dvěma hlavními parními kolektory, které přivádí sytou páru k dvěma parním turbínám.

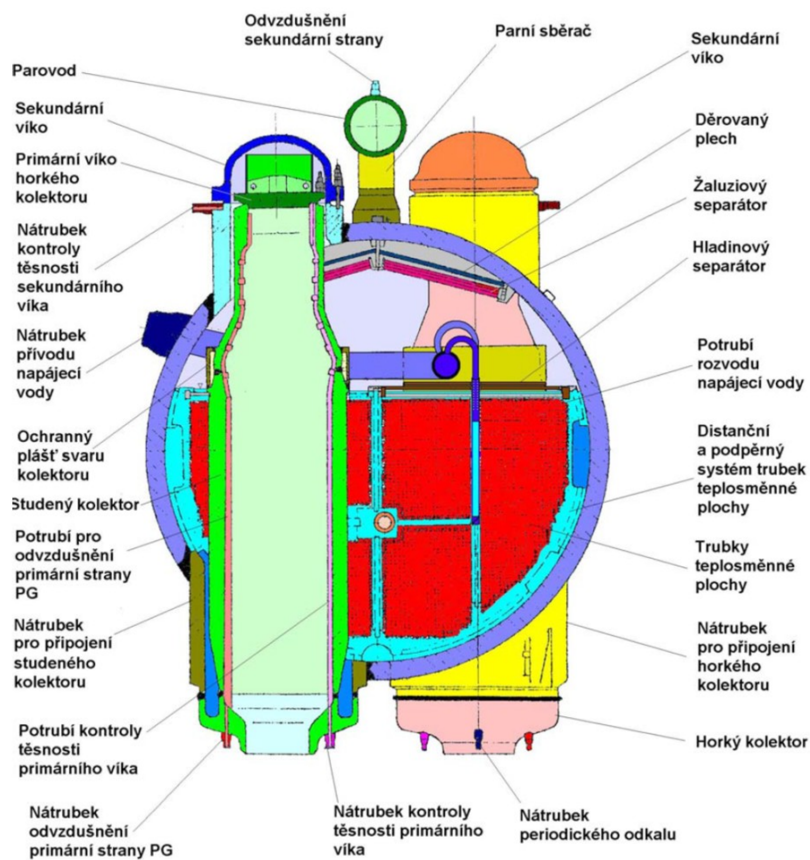
Parogenerátor je vybaven kromě standartního rozvodu napájecí vody i havarijním napájením parogenerátoru, jenž je určený pro případy výpadku standartního režimu napájení parogenerátoru.

Každý parogenerátor je vybaven pojistnými ventily plnící kromě funkce zachování své integrity i bezpečnostní funkci, kterou je zabránění zvýšení tlaku nad přípustnou hodnotu pomocí třech pojistných ventilů.

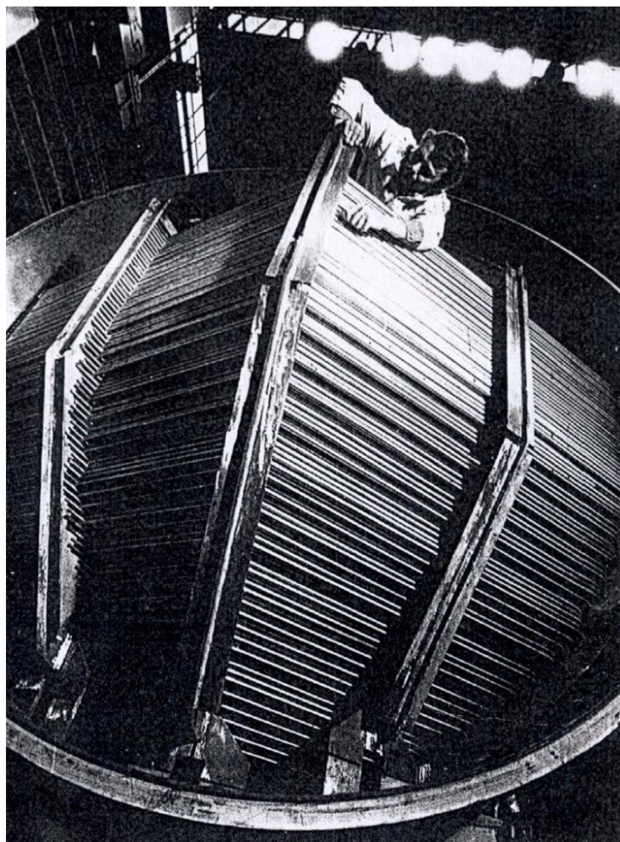
Základní konstrukční materiály, které byly použity při výrobě parogenerátoru, jsou austenitická nerezová ocel 08CH18N12T a uhlíkové oceli zn. 20 nebo zn. 22K. Izolace parogenerátorů je provedena ve formě matrací „NEROFIL“ vyrobené ze skelného vlákna, které jsou zakryty plechovým krytem. Tloušťky izolací jsou navrženy tak, aby hodnota ztráty tepla do okolí byla menší nebo rovna hodnotě dovolené ztráty dané projektem, z tohoto důvodu je tloušťka izolace přibližně 200 mm.



Obr. 66. Parogenerátor - podélný řez



Obr. 67. Parogenerátor - příčný řez



Obr. 68. Parogenerátor - foto trubek teplosměnné plochy

5.4.2.3 Provozní požadavky na parogenerátory

Technické podmínky provozu parogenerátorů jsou následující:

- pracovní tlak I.O.: 12,26 MPa
- maximální rychlost změny tlaku I.O.: 2,9 MPa/min
- teplota chladiva I.O. na vstupu do parogenerátoru: 299 °C
- teplota chladiva I.O. na výstupu z parogenerátoru: 269 °C
- teplota napájecí vody: 223 °C
- teplota syté páry: 260 °C
- maximální rychlost náhřevu parogenerátoru: 20 °C/hod
- maximální rychlost vychlazování parogenerátoru: 30 °C/hod
- maximální ΔT mezi teplotou kovu PG a teplotou média I.O. a II.O.: 60 °C/hod
- nominální hladina vody na sekundární straně nad trubkovým svazkem: 95 mm

Při nominálním provozu jsou v činnosti všechny parogenerátory, systém doplňování napájecí vody sekundárního okruhu, systém odvodu suché syté páry do parních turbín, systém odluhů a odkalů, SKŘ.

Základní bezpečnostní funkcí je udržení celistvosti tlakové hranice primárního okruhu a odvádění zbytkového tepla z aktivní zóny při všech provozních režimech a stavech včetně havarijních podmínek, při nichž nedošlo k porušení celistvosti primárního okruhu reaktoru.

Limitní podmínky pro provoz parogenerátorů:

I. Teplota a tlak vody parogenerátoru:
   - rozdíl teplot ΔT mezi teplotou napájecí vody a chladivem primárního okruhu na vstupu do parogenerátoru a teplotou kovu parogenerátoru nesmí překročit 60°C,
   - tlak na sekundární straně parogenerátoru nesmí překročit 2 MPa.

II. Těsnění primárních kolektorů parogenerátorů:
   - těsnící kroužky primárního kolektoru parogenerátoru musí být provozuschopné

III. Meziokruhová netěsnost parogenerátorů

- meziokruhová netěsnost parogenerátorů nesmí překročit 1 l/hod a celková objemová aktivita gama všech nuklidů odluhu z parogenerátorů vyjádřená jako aktivita izotopu ^{137}Cs nesmí překročit $7x10^5$ Bq/m^3.

Kvalita napájecí vody je kontrolována dle parametrů odluhů, které jsou prováděny kontinuálně přes nátrubky umístěnými v dolní části pláště. Periodické odkalování za provozu je prováděno přes nátrubky umístěnými v dolní části kolektorů.

5.4.2.4 Bezpečnostní požadavky na parogenerátory

Parogenerátor patří dle současně platné vyhlášky SÚJB č.132/2008 Sb. mezi vybraná zařízení a zároveň také patří dle současně platné vyhlášky SÚJB č.309/2005 Sb. mezi vybraná zařízení speciálně navrhovaná.

Zařízení primárního okruhu (kolektory primárního okruhu a jejich víka, trubky teplosměnné plochy) jsou zařazeny do BT1. Zařízení sekundárního okruhu (plášť, vnitřní vestavba) jsou zařazeny do BT2.

Parogenerátor je seizmicky odolný.

5.4.2.5 Zhodnocení provozu parogenerátorů

Parogenerátory jsou na základě výsledků provozních kontrol jednou z nejvíce namáhaných komponent jaderných bloků a představují tak jedno z nejkritičtějších míst bloku z hlediska jeho životnosti a kapacity výroby. Mezi hlavní příčiny kritičnosti těchto komponent patří především agresivní korozní prostředí jak ze strany primárního okruhu tak i sekundárního okruhu, mechanického a teplotního namáhání. Dosavadní provoz všech parogenerátorů ukazuje, že komponenty v rozsahu prováděných provozních kontrol nevykazují závažnější závady týkající se tlakových částí parogenerátorů.

Během provozu byly realizovány změny, které spočívali převážně ve výměně či modifikacích částí zařízení. Za zmínku stojí instalace ochranných krytů pro měření hladiny v parogenerátoru při zapůsobení systému TQ nebo modifikace spojené s problematikou porušení integrity primárního kolektoru parogenerátoru, porušení integrity trubek parogenerátoru a porušení rozvodu přívodního potrubí napájecí vody do parogenerátoru, které byly řešeny na základě doporučení IAEA.

5.4.2.6 Vyhodnocení připravenosti parogenerátorů

Parogenerátory plní svou projektovou funkci a jsou schopny plnit veškeré požadavky na ně kladené. Umístění parogenerátorů a jeho pomocných systémů splňuje požadavky bezpečnosti a spolehlivosti provozu, vhodné přístupnosti jak pro údržbu, tak pro možné opravy. Parogenerátory jsou pravidelně kontrolovány a zkoušeny jak za provozu, tak při najíždění bloku. Technické úpravy realizované po dobu provozu vytvářejí předpoklady spolehlivého provozu a jejich životnost se jeví jako dostatečná. Čerpání životnosti je na úrovni odpovídající době provozu a vytváří tak předpoklad bezpečného a bezproblémového provozu po dobu následujících 10 let.

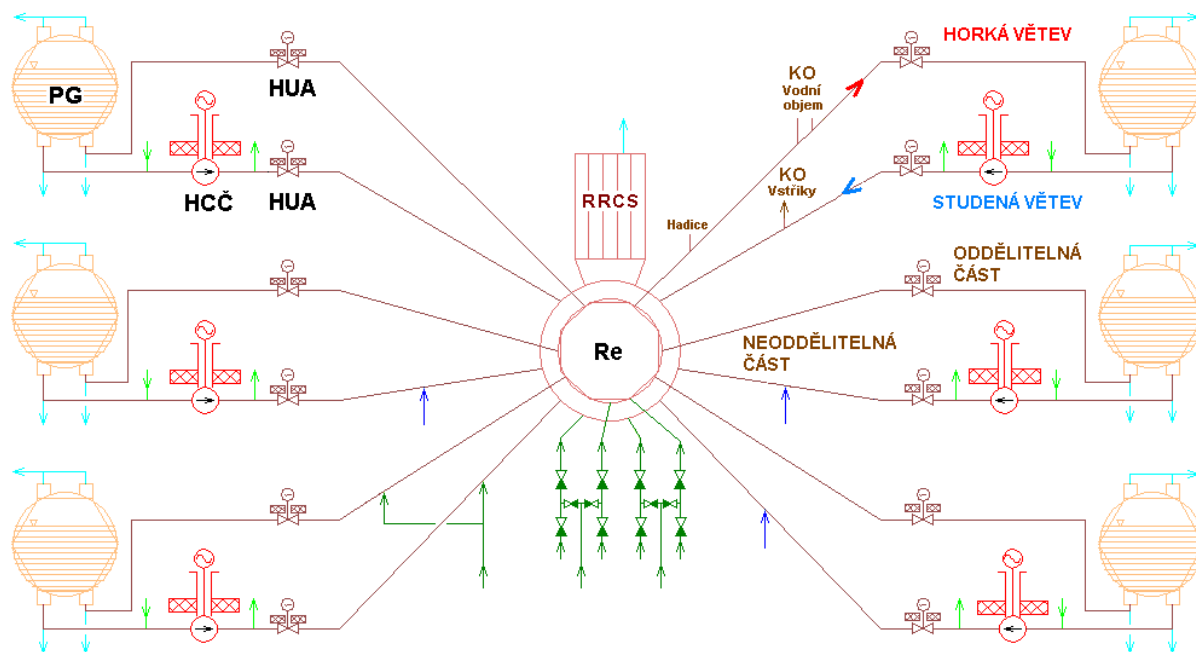
5.4.3 Hlavní cirkulační potrubí

5.4.3.1 Účel hlavního cirkulačního potrubí

Hlavní cirkulační potrubí je nedílnou součástí primárního okruhu a jednou z jeho nejdůležitějších komponent. Hlavní cirkulační potrubí propojuje jednotlivá technologická zařízení primárního okruhu. Spojuje reaktor s parogenerátorem a zajišťuje přenos a vedení tepla chladícím médiem z primárního okruhu do sekundárního okruhu. Z hlediska principu hloubkové ochrany hlavní cirkulační potrubí spolu s reaktorovou nádobou a dalšími komponenty primárního okruhu tvoří III. fyzickou bariéru, tedy tlakovou hranici primárního okruhu.

5.4.3.2 Koncepce projektového řešení hlavního cirkulačního potrubí

Hlavní cirkulační potrubí je tvořeno šesti cirkulačními smyčkami primárního potrubí na jeden reaktorový blok. Je umístěno v kontejnmentu v hermetické zóně v neobslužném prostoru boxu parogenerátorů v kobce A(B)201/1(2) na podlaží +6,0m. Materiálem potrubí DN500 ze kterého je hlavní cirkulační potrubí vyrobené je austenitická nerezová ocel 08CH18N12T o rozměrech 566x34 mm, které je přivařeno k přechodovým nátrubkům reaktoru DN500. Potrubí je svařeno kovanými, bezešvými a oboustranně obráběnými částmi z přímých částí, kolen a odboček. Každá smyčka primárního potrubí je tvořena horkou a studenou větví obsahující šoupě s elektropohonem (hlavní uzavírací armatura). Dále každá smyčka obsahuje i pružinový pojistný ventil zajišťující ochranu smyčky v odstaveném stavu před termickým natlakováním.



Obr. 69. Hlavní cirkulační potrubí – zjednodušené schéma

Uspořádání zařízení hlavního cirkulačního potrubí lze rozdělit podle:

a) **teploty média (chladiva) ve smyčce:**
- horká větev: horký nátrubek reaktoru – hlavní cirkulační potrubí – hlavní uzavírací armatura – hlavní cirkulační potrubí – parogenerátor
- studená větev: hlavní cirkulační potrubí – hlavní cirkulační čerpadlo – hlavní cirkulační potrubí – hlavní uzavírací armatura - hlavní cirkulační potrubí – studený nátrubek reaktoru

b) **oddělitelnosti smyčky:**
- oddělitelná část: hlavní uzavírací armatura – hlavní cirkulační potrubí – parogenerátor – hlavní cirkulační potrubí – hlavní cirkulační čerpadlo – hlavní cirkulační potrubí – hlavní uzavírací armatura
- neoddělitelná část: hlavní uzavírací armatura - hlavní cirkulační potrubí – studený nátrubek reaktoru – hlavní cirkulační čerpadlo – hlavní uzavírací armatura

Uložení jednotlivých smyček je tvořeno uložením hlavními uzavíracími armaturami pro horké větve a speciálním uložením pro studené větve. Samotná uložení jsou provedena jako valivá a zároveň pružná uložení s omezovači posuvů (včetně snímačů) pro vyrovnávání posuvů vlivem teploty a dynamického namáhání.

Izolace hlavního cirkulačního potrubí včetně odboček pro snímatelné a nesnímatelné izolace jsou ve formě matrací „NEROFIL“ vyrobené ze skelného vlákna. Tloušťky izolací jsou navrženy tak, aby hodnota ztráty tepla do okolí byla menší nebo rovna hodnotě dovolené ztráty dané projektem. Oplechování bylo zhotoveno obalením izolace plechem tloušťky 1 mm.

5.4.3.3 Provozní požadavky hlavního cirkulačního potrubí

Základní bezpečnostní funkcí hlavního cirkulačního potrubí je zajistit celistvost hlavního tlakového okruhu chladiva reaktoru.

Hlavní cirkulační potrubí je provozuschopné v případě, že není indikována netěsnost či únik z některé jeho komponenty. Během všech režimů provozu je kontrolována změna předpětí pružin kulového uložení a dilatace potrubí.

U hlavního cirkulačního potrubí může docházet k těmto porušením:

a) náhlé - nestabilní šíření defektu, které vede ke konečnému lomu potrubí mající za následek havárii,

b) únavové – postupné šíření podkritického defektu ve vztahu k působícím zátěžným parametrům.

Limitní podmínky pro provoz hlavního cirkulačního potrubí:

IV. Bezpečnostní limit integrity primárního okruhu:
- tlak primárního okruhu nesmí překročit 15,1 MPa (v případě, že by došlo k přetlakování primárního okruhu mohlo by dojít k porušení tlakové hranice primárního okruhu).

V. Změny parametrů chladiva primárního okruhu:
- rychlost ohřevu chladiva primárního okruhu nesmí překročit 20 °C za hodinu,
- rychlost ochlazení chladiva primárního okruhu nesmí překročit 30 °C za hodinu,
- rychlost změny tlaku chladiva primárního okruhu nesmí překročit 2,94 MPa za minutu.

VI. Provoz smyček primárního okruhu
- v provozu musí být minimálně tři smyčky primárního okruhu,
- při provozu tří smyček je povolena tato kombinace provozovaných smyček: 1, 3, 5 nebo 2, 4, 6,

- při teplotě horké větve připojované smyčky chladnější o více jak 15 °C než je nejnižší teplota studených smyček připojených k reaktoru, je zakázáno spouštění hlavního cirkulačního čerpadla nebo připojení smyčky otevřením obou hlavních uzavíracích armatur,
- v rezervě musí být alespoň jedna smyčka primárního okruhu.

Drenážování hlavního cirkulačního potrubí je prováděno armaturami systému TY12. Na potrubí drenáže je umístěn pružinový pojistný ventil s otevíracím tlakem pojistného ventilu 14,32 MPa s aretováním, které se provádí při tlakových zkouškách smyček o tlaku rovném nebo vyšším 13,7 MPa. Pojistné ventily cirkulačních smyček v A201/1 mají interval revizí a zkoušek jednou za čtyři roky.

Hlavní cirkulační potrubí jakožto pasivní prvek nemá žádné automatiky a veškerá provozní kontrola je prováděna na základě měření tlaku, teploty, průtoku, ampérické zátěže hlavního cirkulačního čerpadla a diagnostiky systémů.

5.4.3.4 Bezpečnostní požadavky na hlavní cirkulační potrubí

Hlavní cirkulační potrubí patří dle současně platné vyhlášky SÚJB č.132/2008 Sb. mezi vybraná zařízení a je zařazeno do bezpečnostní třídy 1.

Nejen samotné hlavní cirkulační potrubí včetně odboček z hlavního cirkulačního potrubí po první uzavírací armaturu, ale i potrubí spojující primární okruh s kompenzátorem objemu jsou zařazeny také do BT1.

Hlavní cirkulační potrubí je dle seismické kvalifikace zařazeno do kategorie Sb.

5.4.3.5 Zhodnocení provozu hlavního cirkulačního potrubí

Na základě prováděných dosavadních výsledků kontrol a zkoušek nebyly zjištěny případy poruch či defektů mající negativní vliv na spolehlivost hlavního cirkulačního potrubí a jeho navazujících systémů.

Na hlavním cirkulačním potrubí nebyly do roku 2007 realizovány žádné změny. Od roku 2007 bylo realizováno dostrojení omezovačů švihnutí hlavního cirkulačního potrubí, které bylo dokončeno do roku 2010 na všech blocích.

Z pohledu čerpání životnosti hlavního cirkulačního potrubí byly určeny ke sledování tyto nejvíce napěťově namáhané uzly: horké koleno pod parogenerátorem a odbočka z hlavního cirkulačního potrubí do kompenzátoru objemu.

5.4.3.6 Vyhodnocení připravenosti hlavního cirkulačního potrubí

Hlavní cirkulační potrubí plní svou projektovou funkci a je schopno plnit veškeré požadavky na něj kladené. Použité materiály hlavního cirkulačního potrubí jsou v souladu s platnými předpisy a normami pro jadernou elektrárnu Dukovany. Umístění hlavního cirkulačního potrubí splňuje požadavky bezpečnosti a spolehlivosti provozu, vhodné přístupnosti jak pro údržbu, tak pro možné opravy. Hlavní cirkulační potrubí je pravidelně kontrolováno a zkoušeno jak za provozu, tak při najíždění bloku.

Technické úpravy realizované po dobu provozu vytvářejí předpoklady spolehlivého provozu a jeho životnost se jeví jako dostatečná minimálně do konce projektované doby provozu bloku, obzvláště po dostrojení omezovačů švihnutí hlavního cirkulačního potrubí, které bylo úspěšně realizováno na základě doporučení IAEA. Čerpání životnosti je na nízké úrovni a vytváří tak předpoklad bezpečného a bezproblémového provozu po dobu následujících 10 let.

5.4.4 Hlavní uzavírací armatury

5.4.4.1 Účel hlavní uzavírací armatury

Hlavní uzavírací armatura slouží k uzavření beztlaké smyčky při práci v parogenerátoru a reaktoru nebo se používá pro částečné uzavření smyčky při najíždění hlavního cirkulačního čerpadla. Dále lze hlavní uzavírací armatury využívat k odpojení libovolné nebo defektní smyčky od ostatních smyček primárního okruhu při pracujícím

reaktoru, avšak od této funkce se upustilo kvůli tomu, že by z důvodu nesymetrického průtoku nebylo možné reaktor s jednou odstavenou smyčkou efektivně provozovat.

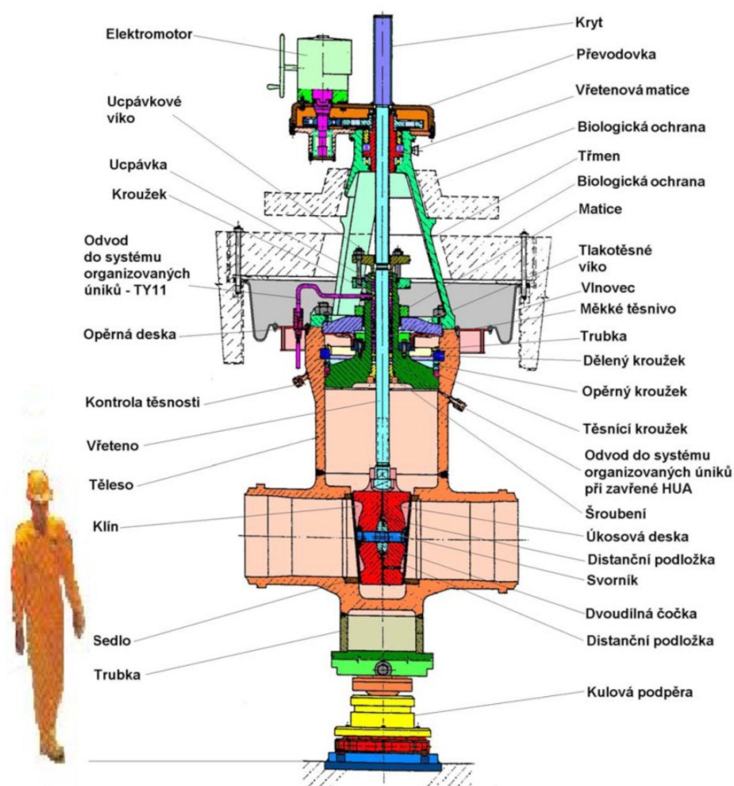
5.4.4.2 Koncepce projektového řešení hlavní uzavírací armatury

Na hlavním cirkulačním potrubí primárního okruhu, které je tvořeno šesti cirkulačními smyčkami a každá smyčka sestává z horké a studené větve obsahující hlavní uzavírací armaturu s elektropohonem, je instalováno celkem dvanáct hlavních uzavíracích armatur. Hlavní uzavírací armatura (HUA) je šoupě o jmenovité světlosti DN500 s elektropohonem. Na studené větvi jsou hlavní uzavírací armatury označeny YA11÷16S01 a na horké větvi YA11÷16S02. Tělesa hlavních uzavíracích armatur jsou umístěna uvnitř kontejnmentu v hermetické zóně v neobslužném prostoru boxu parogenerátorů v kobce A(B)201/1(2) na podlaží +6,0 m, elektropohony jsou umístěny na palubě hlavních cirkulačních čerpadel v kobce A(B)301/1(2) na podlaží +10,0 m. Napájení elektromotoru je provedeno z 2. kategorie zajištěného napájení a příkon elektromotoru činí 7,5 kW. Hlavní uzavírací armaturu lze případně ovládat ručním kolem, které je umístěno na elektropohonu. Doba uzavírání/otevírání šoupátka elektromotorem činí 80 sekund, v případě uzavírání/otevírání šoupátka ručním kolem činí přibližně 45 minut.

Pozice hlavní uzavírací armatury na hlavním cirkulačním potrubí na základě uspořádání dle teploty média ve smyčce:

- horká větev: horký nátrubek reaktoru – hlavní cirkulační potrubí – **hlavní uzavírací armatura** – hlavní cirkulační potrubí – parogenerátor
- studená větev: hlavní cirkulační potrubí – hlavní cirkulační čerpadlo – hlavní cirkulační potrubí – **hlavní uzavírací armatura** - hlavní cirkulační potrubí – studený nátrubek reaktoru

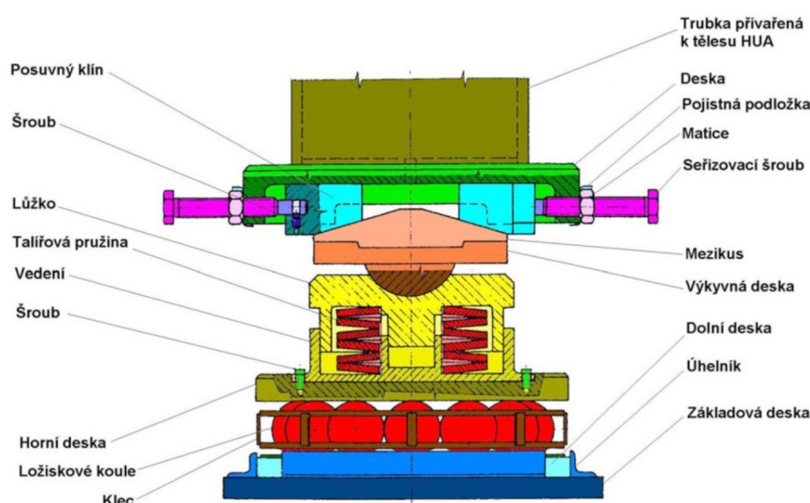
Hlavní uzavírací armatura je složena z těchto základních komponent: tělesa s klínem, tlakotěsným uzávěrem a vřetenem, třmenu s vřetenovou maticí, převodovky, elektromotoru, vlnovce, kulové podpěry (jen na horké větvi), spojovacích částí a těsnění. Detailní popis je zobrazen na obrázku níže.



Obr. 70. Hlavní uzavírací armatura

Materiál tělesa hlavní uzavírací armatury je shodný s materiálem pro výrobu hlavního cirkulačního potrubí, tedy austenitická nerezová ocel 08CH18N12T. Základní části hlavní uzavírací armatury byly zhotoveny ve formě opracovaných výkovků. Izolace hlavních uzavíracích armatur bylo provedeno v souladu s projektem a technickými podmínkami, užitím snímatelných izolací „ALMATOL“ ve formě matrací „NEROFIL“ vyrobených ze skelného vlákna. Tloušťky izolací jsou navrženy tak, aby hodnota ztráty tepla do okolí byla menší nebo rovna hodnotě dovolené ztráty dané projektem, z tohoto důvodu byly pro hlavní uzavírací armatury u horké i studené větve použity snímatelné izolace o tloušťce 180 mm. Oplechování bylo zhotoveno plechem tloušťky 1 mm.

Hlavní uzavírací armatura na horké větvi smyčky hlavního cirkulačního potrubí plní i funkci uložení samotné horké větve smyčky hlavního cirkulačního potrubí. Toto uložení je provedeno jako valivé a zároveň pružné uložení s omezovači posuvů (včetně snímačů) pro vyrovnávání posuvů vlivem teploty a dynamického namáhání.



Obr. 71. Kulová podpěra hlavní uzavírací armatury

5.4.4.3 Provozní požadavky hlavní uzavírací armatury

Technické podmínky provozu jsou následující:

- pracovní tlak: $p_{I.O.}$ = 12,26 MPa
- výpočtový tlak: $p_{I.O.}$ = 13,73 MPa
- pracovní teplota: $t_{I.O.}$ = 300 °C
- výpočtová teplota: $t_{I.O.}$ = 325 °C
- průtočné množství: F ≤ 8000 m^3/h (*8000 < F ≤ 9000 m^3/h max. 5x/rok max. 4 hod/případ*)
- střední rychlost náhřevu/ochlazování: Δt_{MAX} = 30 °C/h
- střední rychlost náhřevu/ochlazování při zastavení HCČ: Δt_{MAX} = 80 °C/h max. 10x/životnost

Provozuschopnost hlavní uzavírací armatury je splněna pokud plní následující funkce:

- hlavní uzavírací armatura je zcela otevřena při ustáleném provozu reaktorového bloku
- hlavní uzavírací armatura je zcela uzavřena při odstávkách bloku z důvodu prací v oddělitelné části smyčky
- hlavní uzavírací armatura je částečně otevřena při najíždění hlavního cirkulačního čerpadla

Ochrany a blokády hlavních uzavíracích armatur jsou přehledně zobrazeny v tabulce níže:

Tab. 32. Ochrany a blokády hlavních uzavíracích armatur

Blokace otevření hlavních uzavíracích	Studená větev hlavní	Studená větev hlavní	Studená větev hlavní	Studená větev hlavní	Studená větev hlavní	Studená větev hlavní

armatur	cirkulační smyčky č.1 YA11S01	cirkulační smyčky č.2 YA12S01	cirkulační smyčky č.3 YA13S01	cirkulační smyčky č.4 YA14S01	cirkulační smyčky č.5 YA15S01	cirkulační smyčky č.6 YA16S01
Teplotní rozdíl více jak 15°C mezi horkou větví hlavní cirkulační smyčky č.1 a studenou větví hlavní cirkulační smyčky č.6	**blokace otevření**					
Teplotní rozdíl více jak 15°C mezi horkou větví hlavní cirkulační smyčky č.2 a studenou větví hlavní cirkulační smyčky č.3		**blokace otevření**				
Teplotní rozdíl více jak 15°C mezi horkou větví hlavní cirkulační smyčky č.3 a studenou větví hlavní cirkulační smyčky č.2			**blokace otevření**			
Teplotní rozdíl více jak 15°C mezi horkou větví hlavní cirkulační smyčky č.4 a studenou větví hlavní cirkulační smyčky č.5				**blokace otevření**		
Teplotní rozdíl více jak 15°C mezi horkou větví hlavní cirkulační smyčky č.5 a studenou větví hlavní cirkulační smyčky č.4					**blokace otevření**	
Teplotní rozdíl více jak 15°C mezi horkou větví hlavní cirkulační smyčky č.6 a studenou větví hlavní cirkulační smyčky č.1						**blokace otevření**

Pro dekontaminaci ulit hlavních uzavíracích armatur je určeno přenosné jednoúčelové dekontaminační zařízení „DEKOZ HUA“, které slouží ke snížení příkonu dávkového ekvivalentu při kontrolách zařízení nebo jejích opravách.

5.4.4.4 Bezpečnostní požadavky na hlavní uzavírací armatury

Hlavní uzavírací armatura patří dle současně platné vyhlášky SÚJB č.132/2008 Sb. mezi vybraná zařízení a je zařazena do bezpečnostní třídy 1. Současně také patří hlavní uzavírací armatura dle současně platné vyhlášky SÚJB č. 309/2005 Sb. mezi vybraná zařízení speciálně navrhovaná.

Samotné zařízení je zařazeno do BT1, napájení zařízení do BT2 a ovládání zařazeno do BT3.

Hlavní uzavírací armatura je seizmicky odolná.

5.4.4.5 Zhodnocení provozu hlavní uzavírací armatury

Provozní kontroly a zkoušky zahrnují periodické prohlídky, při kterých se kontroluje: pohybové ústrojí hlavní uzavírací armatury, stav ucpávky vřetena, těsnost spoje víka, vlnovec, dotažení matic a šroubových spojů, funkce elektropohonu. Provádějí se také vnitřní prohlídky za účelem kontroly stavu: svarových spojů, povrchu vřetena, válcového povrchu tělesa, návarů těsnících a vodících ploch, vodících povrchů a odsávacího kroužku. Dále je během provozu prováděna nepřetržitá diagnostika za pomoci systému DIALIVE.

Provedené změny na hlavních uzavíracích armaturách spočívali ve výměně servopohonů a zrušení krokování hlavních uzavíracích armatur, které byly provedeny na všech reaktorových blocích. Tato modifikace vyplývá z náhrady původních, zastaralých a již nevyráběných servopohonů za nový typ. Dále byla provedena úprava klínu hlavní uzavírací armatury pro třetí reaktorový blok a modifikace ucpávkového bloku hlavní uzavírací armatury pro čtvrtý reaktorový blok.

5.4.4.6 Vyhodnocení připravenosti hlavní uzavírací armatury

Hlavní uzavírací armatury plní svou projektovou funkci a jsou schopny plnit veškeré požadavky na ně kladené. Použité materiály pro hlavní uzavírací armatury jsou v souladu s platnými předpisy a normami pro jadernou elektrárnu Dukovany. Umístění hlavních uzavíracích armatur splňuje požadavky bezpečnosti a spolehlivosti provozu, vhodné přístupnosti jak pro údržbu, tak pro možné opravy. Ochrany a blokády plní projektované funkce. Hlavní uzavírací armatury jsou pravidelně kontrolovány a zkoušeny jak za provozu, tak při najíždění bloku. Čerpání životnosti je na nízké úrovni a vytváří tak předpoklad bezpečného a bezproblémového provozu po dobu následujících 10 let.

5.4.5 Oddělovací systém hlavního parovodu

5.4.5.1 Účel oddělovacího systému hlavního parovodu

Oddělovací systém hlavního parovodu slouží k bezpečnému oddělení parovodů. Systém je automatický. Část na hlavním parním kolektoru odděluje hlavní parní kolektor při poklesu tlaku v něm pod stanovenou úroveň. Část na parovodech odděluje parogenerátor (PG) od poškozeného parovodu mezi rychločinnými armaturami a hlavním parním kolektorem ve směru proudění páry nebo slouží k odpojení poškozeného parogenerátoru od hlavního parního kolektoru. K redundantnímu zabezpečení funkce rychločinných armatur na parovodech slouží hlavní parní uzávěry. Hlavní parní uzávěry slouží k zajištění těsného oddělení parogenerátoru při eventuálním podcházení rychločinných armatur, k zabezpečení možného připojení odděleného parogenerátoru zpět k hlavnímu parnímu kolektoru za normálního provozu i v havarijních podmínkách po vyrovnání parametrů přes ochoz hlavních parních uzávěrů.

5.4.5.2 Koncepce projektového řešení oddělovacího systému hlavního parovodu

Systém je tvořen rychločinnými armaturami (RČA) na parovodech od jednotlivých PG, hlavními parními uzávěry (HPU) na parovodech příslušející k jednotlivým PG umístěných za RČA ve směru od PG a sekčními rychločinnými armaturami na hlavním parním kolektoru (HPK), které jsou tři v řadě umístěny uprostřed HPK.

RČA na parovodech z PG i oddělovací RČA na HPK jsou přestavovány do krajních poloh pomocí VT vzduchu o tlaku 4,5 ± 0,5 MPa přiváděného třemi potrubími jenž navazují na trasy VT vzduchu v primární části. Páteřní rozvod VT vzduchu je tvořen třemi nezávislými systémy, z nichž každý je napojen na vzdušník o objemu 15 m^3 doplňovaný z VT kompresorové stanice. Tím je zajištěna maximální spolehlivost ovládání RČA.

K jednotlivým vzdušníkům RČA je VT vzduch přiváděn trasami odbočujícími z páteřních rozvodů. Trasy přivádějící VT vzduch k jednotlivým vzdušníkům jsou od páteřního rozvodu odděleny uzamykatelnými oddělovacími armaturami.

5.4.5.3 Provoz oddělovacího systému hlavního parovodu

Během normálního provozu jsou všechny armatury otevřené. Normální funkcí RČA je oddělovat v havarijních režimech poškozený PG, nebo poškozenou polovinu HPK. Hlavní funkce je zajištěna systémem ochrany bloku (ESFAS) a systémem technologických ochran (SAS).

Řídící a kontrolní systém RČA zajišťuje jejich spolehlivé ovládání v nominálních i havarijních situacích bloku. Armatury jsou ovládány automaticky od ochran a blokád. Dalším způsobem ovládání je z místa ručně nebo z deblokačních skříněk, přičemž nepůsobí blokády a ochrany ze systému kontroly a řízení. Z BD a ND jsou armatury ovládány pouze individuálně ručně s působením blokád a ochran ze systému kontroly a řízení. Měření potřebná pro řízení armatur jsou umístěna v ND a všechna příslušná měření jsou umístěna v BD.

5.4.5.4 Bezpečnostní požadavky na oddělovací systém hlavního parovodu

Oddělovací systém hlavního parovodu patří mezi bezpečnostní systémy. Z důvodu zařazení systému mezi bezpečnostní systémy, je systém kvalifikován na seismicitu a podmínky prostředí při události typu HELB. Zařazení do bezpečnostních tříd se řídí vyhláškou č. 132/2008 Sb.

Hlavní komponenty, rychločinné armatury na jednotlivých parních potrubích jsou zařazeny do bezpečnostní třídy BT2. Uzavírací armatury na jednotlivých přívodech napájecí vody do parogenerátoru jsou zařazeny do bezpečnostní třídy BT2.

5.4.5.5 Zhodnocení provozu oddělovacího systému hlavního parovodu

Během provozu systému byly realizovány následující změny: záměna těsnění, úprava a modifikace ovládání, rekonstrukce elektrických pohonů armatur a výměna armatur na parovodech, životnost vyměněných armatur se předpokládá do konce provozu EDU.

Armatury nemají limitováno čerpání životnosti. Pouze pro nejvíce namáhané části armatur (těsnění, ucpávka, kuželky, atd.) jsou objednány náhradní díly v takovém rozsahu, aby provoz armatur byl udržen po celou dobu životnosti. Rovněž použití náhradních dílů v dosavadním provozu odpovídá projektované životnosti.

5.4.5.6 Vyhodnocení připravenosti oddělovacího systému hlavního parovodu

Dosavadní provoz armatur je po již provedených úpravách a po zvládnutí problematiky řízení a kontroly obsluhujícím personálem spolehlivý, bezpečný a bez

poruch, které by mohly zásadně ovlivnit bezpečnost a provozuschopnost bloku. Nejzávažnější poruchy byly analyzovány a byla provedena taková opatření, která úplně zamezí jejich vzniku nebo je omezí na minimální míru.

Oddělovací systém parogenerátorů plní projektové funkce, nevykazuje rostoucí poruchovost a jsou plněny předpoklady pro bezpečný provoz systému po následujících 10 let. Dílčí zjištěné nedostatky části systému z hlediska kvalifikace vůči prostředí byly vyřešeny nápravnými opatřeními.

5.4.6 Systém odvodu zbytkového tepla

5.4.6.1 Účel systému odvodu zbytkového tepla

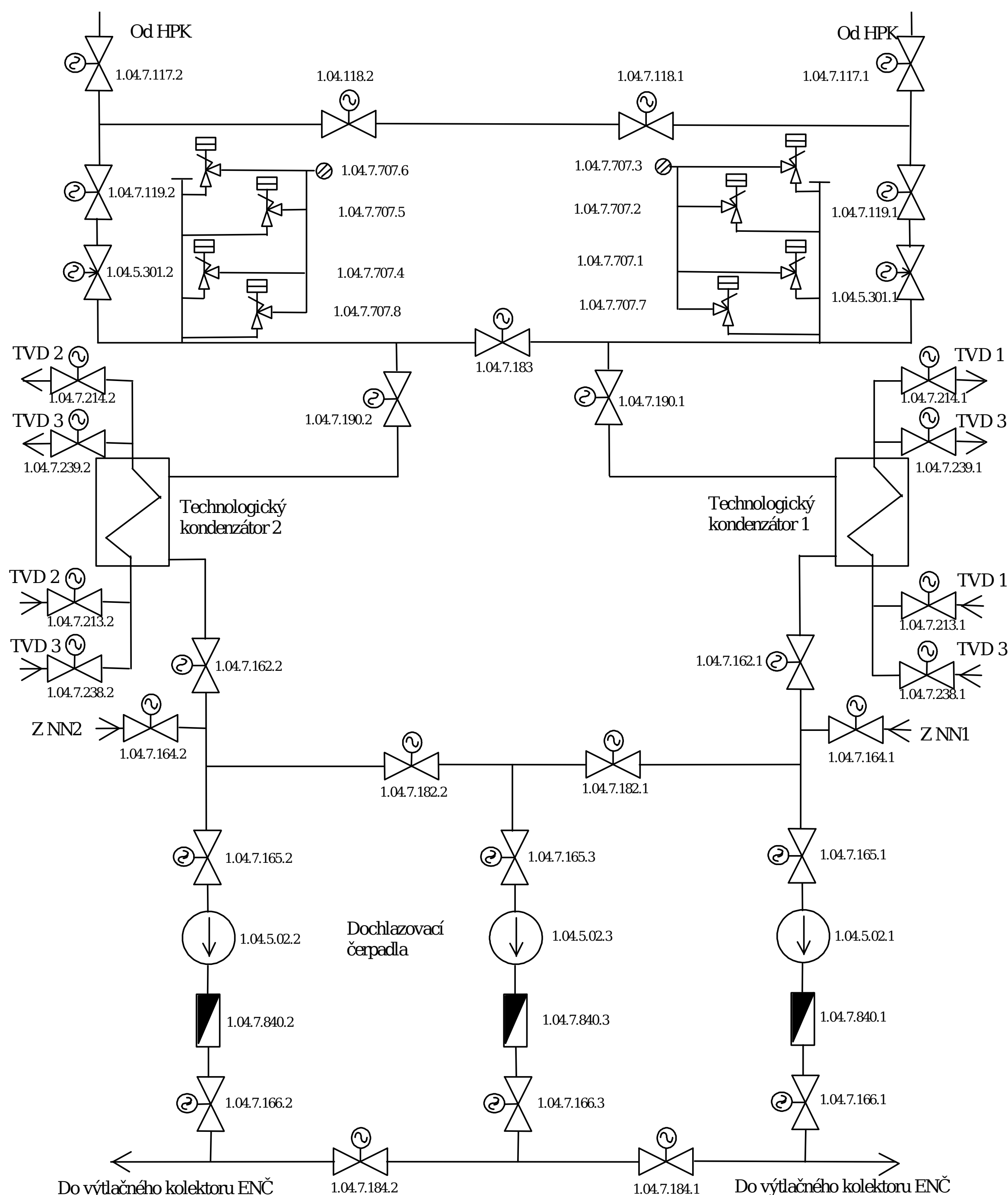
Tento systém je primárně určen pro odvod zbytkového tepla reaktoru, tj. pro normální (nehavarijní) vychlazování primárního okruhu bloku JE Dukovany při plánovaném odstavení reaktoru (např. výměna paliva) až na teplotu přibližně 60 °C a stabilizaci primárního okruhu na této teplotě. Rovněž systém umožnuje odvod nadbytečného tepla při najíždění reaktoru na výkon nebo udržení reaktoru v horké rezervě. Systém odvodu zbytkového tepla je tedy v provozu pouze v režimech spouštění (najíždění) a odstavování bloku, za normálního provozu bloku je systém odvodu zbytkového tepla odstaven.

5.4.6.2 Koncepce projektového řešení systému odvodu zbytkového tepla

Systém odvodu zbytkového tepla zajišťuje ochlazování/ohřev chladiva primárního okruhu s maximální změnou teploty o 30 °C za hodinu. Od primárního okruhu je systém odvodu zbytkového tepla oddělený teplosměnnou plochou parogenerátoru. K ochlazování dochází nejenom na sekundární straně parogenerátoru, ale i v kompenzátoru objemu (KO). Na KO je prováděno vstřikem chladiva ze studené smyčky do KO nebo vstřikem chladiva ze systému doplňováni a bórové regulace při teplotě primárního okruhu nižší než 120 °C.

Systém odvodu zbytkového tepla tvoří dvě nezávislé větve, které sestávají ze zdvojené skupiny redukčních stanic dochlazování (RSD), technologických kondenzátorů (TK), trojice dochlazovacích čerpadel (DČ) a potrubních tras včetně armatur pro jeden blok.

Jedná se o aktivní systém, jehož důležitá zařízení, armatury a měření SKŘ jsou napájena z různých sekcí zajištěného napájení, tj.: z I. kategorie elektrického napájení (bateriemi) a II. kategorie elektrického napájení (dieselgenerátory), lze pak v případě výpadku jednoho systému napájení zajistit provoz dochlazovací stanice na druhou paralelní větev.



Obr. 72. Systém odvodu zbytkového tepla – zjednodušené schéma

5.4.6.3 Provoz systému odvodu zbytkového tepla

Zahájení dochlazování bloku se provádí po snížení výkonu reaktoru na minimální kontrolovanou úroveň, po snížení množství přepouštěné páry z parogenerátorů (PG) při použití dochlazovací stanice nebo přes přepouštěcí stanici do kondenzátoru (PSK) a po zahájení zvyšování odstavné koncentrace kyseliny borité v chladivu primárního okruhu. Z primárního okruhu je zbytkové teplo odváděno přes sekundární stranu parogenerátoru ve dvou fázích a to v parní a ve vodní fázi. Přechod z parní fáze na vodní fázi probíhá přibližně při teplotě chladiva primárního okruhu 140°C. Po odvedení předaného tepla do systému TVD je voda z TK odvedena na sání DČ a následně do výtlačného kolektoru hlavních napájecích čerpadel (ENČ) a parogenerátorů, nebo lze kondenzát odvést do napájejících nádrží (NN) a následně na sání havarijních napájecích čerpadel (HNČ) a do parogenerátorů (PG).

5.4.6.3.1 Parní fáze dochlazování

První fáze vychlazování primárního okruhu je nazývána parovodním režimem a to proto, že v parogenerátorech je udržována hladina vody, ale v parovodech a v hlavním parním kolektoru je pára. V parní fázi se odvod tepla z PG při vyšších teplotách odvádí parou do hlavního parního kolektoru (HPK) a následně do redukční stanice při tlacích 4,4/0,7 MPa nebo v případě snížené efektivnosti dochlazování se přechází na odvod páry přes přepouštěcí stanici do kondenzátoru (PSK), eventuálně přes RSD do TK, kde probíhá kondenzace páry a kondenzát je tlakovým spádem odváděn do sběrače kondenzátu pro normální dochlazování/najíždění bloku (SNK).

5.4.6.3.2 Vodní fáze dochlazování

Druhá fáze vychlazování primárního okruhu je nazývána vodovodním režimem a to proto, že parogenerátor, parovody i hlavní parní kolektor je zcela zaplněn vodou. Celý dochlazovací okruh, který je postupně zaplněn vodou, se skládá z PG – HPK – RSD – TK – 1.NN – 2.NN – DČ – PG. Ve vodní fázi se tedy teplo z plně zaplněných parogenerátorů odvádí vodou přes HPK, RSD do TK. Snižování teploty probíhá změnou průtoku TVD na TK. Rozdíl mezi teplotou napájecí vody a teplotou parogenerátoru však nesmí překročit 60°C. Ve vodní fázi dochlazování se sníží střední teplota primárního okruhu přibližně na 50 °C, následně jsou odstavena všechna hlavní cirkulační čerpadla a vychlazování reaktoru dále probíhá přirozenou cirkulací.

5.4.6.4 Bezpečnostní požadavky na systém odvodu zbytkového tepla

Systém odvodu zbytkového tepla je systém související s bezpečností a podle vyhlášky SÚJB č.132/2008 Sb. o systému jakosti je zařazen do bezpečnostní třídy 3 (BT3).

Dochlazovací čerpadla včetně elektromotorů, technologický kondenzátor, příslušné armatury včetně impulsních pojišťovacích ventilů (IPV) a potrubí jsou zařazeny do bezpečnostní třídy BT3. Elektropohony armatur jsou zařazeny také do BT 3.

5.4.6.5 Zhodnocení provozu systému odvodu zbytkového tepla

Dosavadní provoz systému odvodu zbytkového tepla je při zvládnutí řízení technologických kondenzátorů a redukčních stanic dochlazování obsluhujícím personálem spolehlivý a bezpečný. Za 30 let provozu nedošlo k významnějším poruchám tohoto systému. Během provozu byly realizovány změny, které spočívali převážně ve výměně potrubí a zařízení jako například výměna technologických kondenzátorů za nové s titanovými trubkami. Významná byla také úprava seismického zodolnění technologických kondenzátorů, napájecích nádrží a nádrží technické vody důležité.

5.4.6.6 Vyhodnocení připravenosti systému odvodu zbytkového tepla

Systém odvodu zbytkového tepla je projektován na celou dobu životnosti elektrárny, při které plní svou projektovou funkci, nevykazuje rostoucí poruchovost a lze předpokládat, že tento systém bude schopen bezproblémového provozu a bezpečného provozu i po dobu následujících 10 let. Systém je pravidelně kontrolován a zkoušen. Dosavadní provoz systému byl provozován v souladu s provozním předpisem a byl bezpečný a spolehlivý.

Technické úpravy realizované po dobu provozu vytvářejí předpoklady spolehlivého provozu systému a jeho životnost se jeví jako dostatečná minimálně do konce projektované doby provozu bloku, obzvláště po výměně teplosměnných trubek TK za titanové. Pro komponenty jejichž typ se již nevyrábí, jsou schváleny ekvivalenty a v případě poruchy dojde k výměně (např. redukční ventil dochlazování). Aktuálně probíhá výměna servopohonů s cílem postupně nahradit dožívající komponenty moderními typy a vytvořit tak předpoklady pro bezpečný a spolehlivý provoz minimálně po dobu 10 let po roce 2015.

5.4.7 Systém kontinuálního čištění primárního okruhu

5.4.7.1 Účel systému kontinuálního čištění primárního okruhu

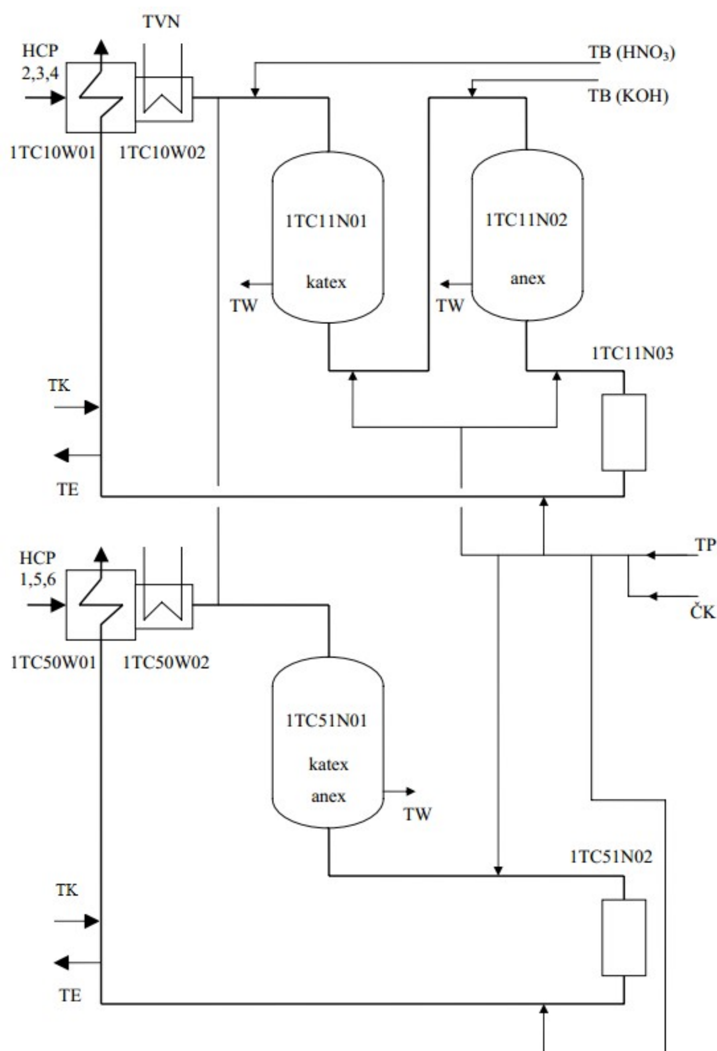
Tento systém, označovaný rovněž jako SVO-1 slouží primárně k odstraňování nečistot z chladiva I.O. Tyto nečistoty jsou tvořeny především korozními produkty konstrukčních materiálů, izotopy štěpných produktů, které v malé míře pronikají do chladiva I.O mikro netěsnostmi v pokrytí palivových článků a dalšími nečistotami obsaženými v doplňovaném chladivu nebo v dávkovaných chemikáliích. Odstraňováním těchto nečistot se zabraňuje negativním jevům, jako je např. tvorba nánosů mechanických nečistot, které vedou ke zhoršenému prostupu tepla anebo zvyšování kontaminace I.O, které je způsobeno štěpnými produkty a radioaktivními nuklidy vznikajícími aktivací materiálů.

Dále tento systém slouží k udržování požadované kvality chladiva podle normy vodo-chemického režimu, k ohřevu doplňovací vody, k odpouštění chladiva z I.O, k počátečnímu zaplnění a vyprázdnění I.O a k dezaktivaci I.O.

5.4.7.2 Koncepce projektového řešení systému kontinuálního čištění primárního okruhu

Systém kontinuálního čištění vody I.O se skládá ze dvou vzájemně zastupitelných okruhů TC10 a TC50. Pro okruh TC10 je chladivo I.O odebíráno ze smyček HCP č. 2,3,4. Pro okruh TC50 je chladivo I.O odebíráno ze smyček hlavního cirkulačního potrubí (HCP) č. 1,5,6. Odebrané chladivo prochází skrz regenerační výměník a dochlazovač, kde dochází k jeho zchlazení pod teplotu 50°C a médium následně postupuje k ionexovým filtrům. Okruh TC10 se skládá z katexového a anexového filtru. Okruh TC50 obsahuje jeden směsný filtr, který je naplněn promísenou katexovou a anexovou náplní v poměru 1:1. Oba okruhy jsou zakončeny lapači ionexových částic. Kapacita každého okruhu je 30t/h. Po průchodu média filtry je médium vráceno zpět do jednotlivých smyček HCP přes regenerační výměník, kde se médium ohřeje na teplotu 255°C. Chladivo je také možné odpustit do systému odvodu chladiva z primárního okruhu (TE). K ohřevu doplňovací vody je zavedeno potrubí systému TK před regenerační výměník.

Za provozu systému se sledují tyto parametry: teplota média před vstupem do filtrů, průtok, tlakový spád na filtrech, vodní režim chladiva, těsnost dělících rovin filtrů a efektivnost čištění I.O.



Obr. 73. Zjednodušené schéma zapojení systému SVO-1

5.4.7.3 Provoz systému kontinuálního čištění primárního okruhu

Během normálního režimu je zapojen jeden ze dvou okruhů TC10, TC50. Druhý okruh tvoří rezervu. Zapojení okruhů se střídá po každé kampani.

Rezervní okruh je možné zapojit v těchto případech:

- Úprava chemického režimu chladiva I.O
- Snížení koncentrace KOH v chladivu I.O
- Vyrovnání H_3BO_3 v I.O podle harmonogramu
- Porucha na pracovním okruhu.

Mimo normální režim se provádí na systému SVO-1 tyto manipulace: kypření filtrů, regenerace filtrů, vyplavování filtrů, vyplavování lapače ionexových částic, kontrola vyvezení náplní filtrů, opatření proti vniknutí ČK do I.O. Manipulace kypření a regenerace filtrů je možné provádět za provozu bloku na výkonu po odstavení okruhu se současným uvedením druhého okruhu do provozu. Kypření se provádí při zjištění zvýšení tlakového spádu Δp na filtrech nad stanovenou mez obráceným proudem čistého kondenzátu než je směr filtrace v normálním provozu. Proces kypření trvá 0,5-1 hodinu. Regenerace se provádí v případě nedosažení potřebných chemických parametrů za filtrem. Její četnost se odvíjí od rychlosti vysycení náplní filtrů. Regenerace filtrů okruhu trvá přibližně 2h a je provedena ve dvou fázích. V první fázi je provedena samotná regenerace. Katexový filtr je regenerován kyselým roztokem 4-6% HNO_3. Anexový filtr je regenerován zásaditým roztokem 4-6% KOH. V druhé fázi následuje proplach ČK. Vyplavování filtrů a lapače ionexových částic se provádí vodo-vzdušnou směsí do sběrných nádrží kapalných

odpadů po určité době provozu. Vyplavování se provádí pouze v době odstávky bloku při výměně paliva. Opatření proti vniknutí čistého kondenzátu (ČK) do I.O jsou platná během všech režimů bloku. Skládá se z rozpisu stavu armatur systému během všech režimů a manipulací.

5.4.7.4 Bezpečnostní požadavky na systém kontinuálního čištění primárního okruhu

Systém kontinuálního čištění primárního okruhu je systém související s bezpečností. Podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. o systému jakosti je systém zařazen do BT3.

Armatury systému oddělující systém kontinuálního čištění od primárního okruhu jsou zařazeny do BT1. Část systému obsahující regenerační výměník, dochlazovač, přívod chladiva ze systému TK a odvod do systému TE je zařazena do BT2. Samotná filtrační zařízení a jejich výbava jsou zařazeny do BT3.

Armatury na hranici systému jsou zařazeny do seismické kategorie 1a. Pasivní prvky části systému obsahující regenerační výměník, dochlazovač, přívod chladiva ze systému TK a odvod do systému TE jsou zařazeny do seismické kategorie 1b. Samotná filtrační stanice není seismicky odolná.

Individuálnímu programu zajištění kvality vybraných zařízení podléhají tyto zařízení: regenerační výměník a dochlazovač, iontový filtr a lapač ionexových částí.

5.4.7.5 Hodnocení provozu systému kontinuálního čištění primárního okruhu

Během provozu elektrárny byly realizované změny zaměřeny především na odstranění vad spojených s netěsnostmi přírubových spojů na hlavních dělících rovinách ionexových filtrů. Protože se jedná o zásah do vybraného zařízení ve smyslu vyhl. č. 132/2008 Sb., byly provedeny všechny následné zkoušky a kontroly dle těchto vyhlášek. Úpravy těchto spojů byly provedeny na všech blocích EDU.

Z pohledu čerpání životnosti tlakových nádob je nutné sledování počtu cyklu najíždění na pracovní teplotu a tlak. Za dobu provozování nesmí počet překročit 1000 cyklů. Při předpokladu najíždění na pracovní parametry 2x za rok, je čerpání životnosti nízké s dostatečnou rezervou i na další roky provozování celého systému.

5.4.7.6 Vyhodnocení připravenosti systému kontinuálního čištění primárního okruhu na další provoz

Protože tento systém pracuje s médiem, které je zdrojem ionizujícího záření, je systém navržen tak, aby byla zabezpečena ochrana personálu a životního prostředí. Zařízení jsou navržena a kontrolována z pohledu bezpečnosti, jakosti výroby, montáže, komplexního vyzkoušení a provozní kontroly. Návrh systému vyhovuje kladeným bezpečnostním kritériím. Zařízení v nejvíce namáhaných místech systému jsou obměňována v takovém rozsahu, aby byl bezpečný provoz systému zajištěn po celou dobu provozu EDU.

Průběh čištění a dodržování chemického režimu je periodicky monitorováno v radiochemických laboratořích. Kontrola průniku radioaktivního média do neaktivních médií je kontinuálně kontrolována systémem RK a systémem odběru vzorků.

Systém plní projektovou funkci, nevykazuje rostoucí poruchovost a lze předpokládat, že bude schopen bezproblémového provozu po dobu následujících 10 let. Ani realizované zvýšení výkonu bloků EDU nemělo dopad na bezpečný a bezproblémový provoz tohoto systému, protože na regeneračním výměníku a dochlazovači je dostatečná teplotní rezerva k pokrytí nárůstu teploty chladiva primárního okruhu.

5.4.8 Systém napájení parogenerátorů a parovody

Potrubní systémy hlavního parovodu a napájení parogenerátorů sestávají převážně z potrubí, čerpadel, armatur, spojovacího materiálu, závěsů, podpěr, tepelné izolace, napájení elektro a SKŘ.

Z důvodu větší přehlednosti je systém napájení parogenerátorů a parovody rozdělen na podkapitoly:

5.4.8.1 Systém hlavního parovodu

5.4.8.2 Systém napájení parogenerátorů

Kapitoly věnované systémům a jednotlivým komponentům navazujících na systém hlavního parovodu a systém napájení parogenerátorů jsou blíže popsány v jednotlivých kapitolách tohoto dokumentu, jedná se především o oddělovací systém hlavního parovodu, systém odvodu zbytkového tepla, systém pomocného napájení parních generátorů, systém nouzového napájení parních generátorů, a dále kapitoly parogenerátory, armatury, bezpečnostní a pojišťovací ventily.

5.4.8.1 Systém hlavního parovodu

5.4.8.1.1 Účel systému hlavního parovodu

Potrubní systém hlavního parovodu je v režimu normálního provozu bloku určen pro odvod páry z parogenerátoru k turbíně a dalším zařízením sekundárního okruhu. V dalších režimech bloku, tedy při přechodových a havarijních režimech se používá systém bezpečnostních a pojišťovacích ventilů nebo oddělovací systém hlavního parovodu k oddělení parogenerátoru od turbíny.

Bezpečnostní a pojišťovací ventily systému ochrany parogenerátorů a parovodů proti převýšení tlaku slouží k udržení tlaku páry v parogenerátorech a parovodech v povolených mezích a jsou blíže popsány v příslušné kapitole tohoto dokumentu.

Oddělovací systém hlavního parovodu včetně sekčních rychločinných armatur hlavního parního kolektoru zajištuje automatické a bezpečné oddělení postižených částí parovodů při prasknutí potrubí parovodů nebo hlavního parního kolektoru. Při včasném oddělení postižené části parovodu dochází k zamezení nekontrolovaného poklesu tlaku v parogenerátoru s následným zamezením podchlazení primárního okruhu, vnosu kladné reaktivity a teplotně tlakovému šoku na nádobu reaktoruKoncepce projektového řešení systému hlavního parovodu

Systém hlavního parovodu, jak již bylo výše uvedeno, sestává z potrubí, armatur, spojovacího materiálu, závěsů, podpěr, tepelné izolace, napájení elektro a SKŘ.

Podrobný popis některých komponent systému hlavního parovodu je již detailněji popsán v jiných kapitolách tohoto dokumentu (např. armatury v kapitole 5.4.12 nebo bezpečnostní a pojišťovací ventily v kapitole 5.4.13).



Obr. 74. Systém hlavního parovodu – zjednodušené schéma

5.4.8.1.2 Provoz systému hlavního parovodu

Za normálního provozu systém parního potrubí v sekundární části propojuje parní stranu parogenerátoru se zařízením sekundárního okruhu z důvodu odvodu páry z parogenerátoru k turbínám a dalším spotřebičům páry sekundárního okruhu nebo k cirkulaci chladícího média ve vodní fázi při dochlazování primárního okruhu. Pára je z parogenerátoru odváděna příslušnými parovody přes pojistné, uzavírací a regulační armatury k parním turbínám. Přes redukční stanici 4,4/0,7MPa je pára přiváděna k dalším spotřebičům sekundárního okruhu.

Při přechodových a havarijních režimech bloku se používá i systém bezpečnostních a pojišťovacích ventilů (PSA a IPV PG) případně oddělovací systém hlavního parovodu (RČA a HPU). Oddělovací systém hlavního parovodu patří mezi bezpečnostní systémy zařazené do 3. úrovně ochrany do hloubky.

Za normálního provozu jaderného bloku jsou vždy plně otevřeny všechny rychločinné armatury a hlavní parní uzávěry. Při iniciaci havarijních podmínek spojených s poklesem tlaku v parogenerátoru respektive hlavního parního kolektoru je systém automaticky uveden v činnost a při poklesu tlaku pod nastavenou úroveň je vydán povel na automatické uzavření rychločinné armatury a hlavní parní uzávěry na parovodech respektive na rychločinné armatury na hlavním parním kolektoru. Hlavní parní uzávěry slouží jako rezerva za rychločinné armatury.

Jako typické iniciační události lze uvést roztržení parovodu jednoho parogenerátoru, roztržení hlavního parního kolektoru, roztržení propojení jednoho parogenerátoru a hlavního parního kolektoru (na nominálním výkonu) a roztržení parovodu jednoho parogenerátoru při nulovém výkonu reaktoru.

5.4.8.1.3 Bezpečnostní požadavky na systém hlavního parovodu

Rychločinné armatury na parovodech patří mezi bezpečnostní systémy. Hlavní parní uzávěry a rychločinné armatury na hlavním parním kolektoru patří mezi systémy související s bezpečností. Systém hlavního parovodu je tedy podle vyhlášky SÚJB č.132/2008 Sb. zařazen do bezpečnostních tříd BT2 a BT3. Současně patří také parovody a hlavní parní kolektor dle současně platné vyhlášky SÚJB č. 309/2005 Sb. mezi vybraná zařízení speciálně navrhovaná.

Systém hlavního parovodu je dle seismické kvalifikace zařazen do kategorie 1a u něhož je vyžadována plná funkční způsobilost včetně zachování integrity 1b v průběhu a po skončení havarijní události (zemětřesení).

5.4.8.1.4 Zhodnocení provozu systému hlavního parovodu

Dosavadní provoz systému hlavního parovodu je spolehlivý a bezpečný. Na základě prováděných výsledků kontrol a zkoušek je systém v přijatelném nebo velmi dobrém stavu. Soustava RČA prochází postupnou modernizací ke zlepšení funkcí RČA. Systém hlavního parovodu plní své funkce. Na systému jsou pravidelně prováděny kontroly a náhrady zařízení podle harmonogramu výměny jednotlivých částí zařízení a zařízení.

5.4.8.1.5 Vyhodnocení připravenosti systému hlavního parovodu

Systém hlavního parovodu plní svou projektovou funkci a je schopen plnit veškeré požadavky na něj kladené. Systém je pravidelně kontrolován a zkoušen. Dosavadní provoz systému byl provozován v souladu s provozním předpisem a byl bezpečný a spolehlivý.

Technické úpravy realizované po dobu provozu vytvářejí předpoklady spolehlivého provozu systému a jeho životnost se jeví jako dostatečná minimálně do konce projektované doby provozu bloku. Za současně přijatých a postupně realizovaných opatření spočívajících například v postupné výměně některých RČA, zachování stávajícího rozsahu řízení dopadů stárnutí a implementace nápravných opatření a doporučení vyplývajících z analýz je systém schopen bezpečného a spolehlivého provozu minimálně po dobu dalších 10 let.

5.4.8.2 <u>Systém napájení parogenerátorů</u>

5.4.8.2.1 Účel systému napájení parogenerátorů

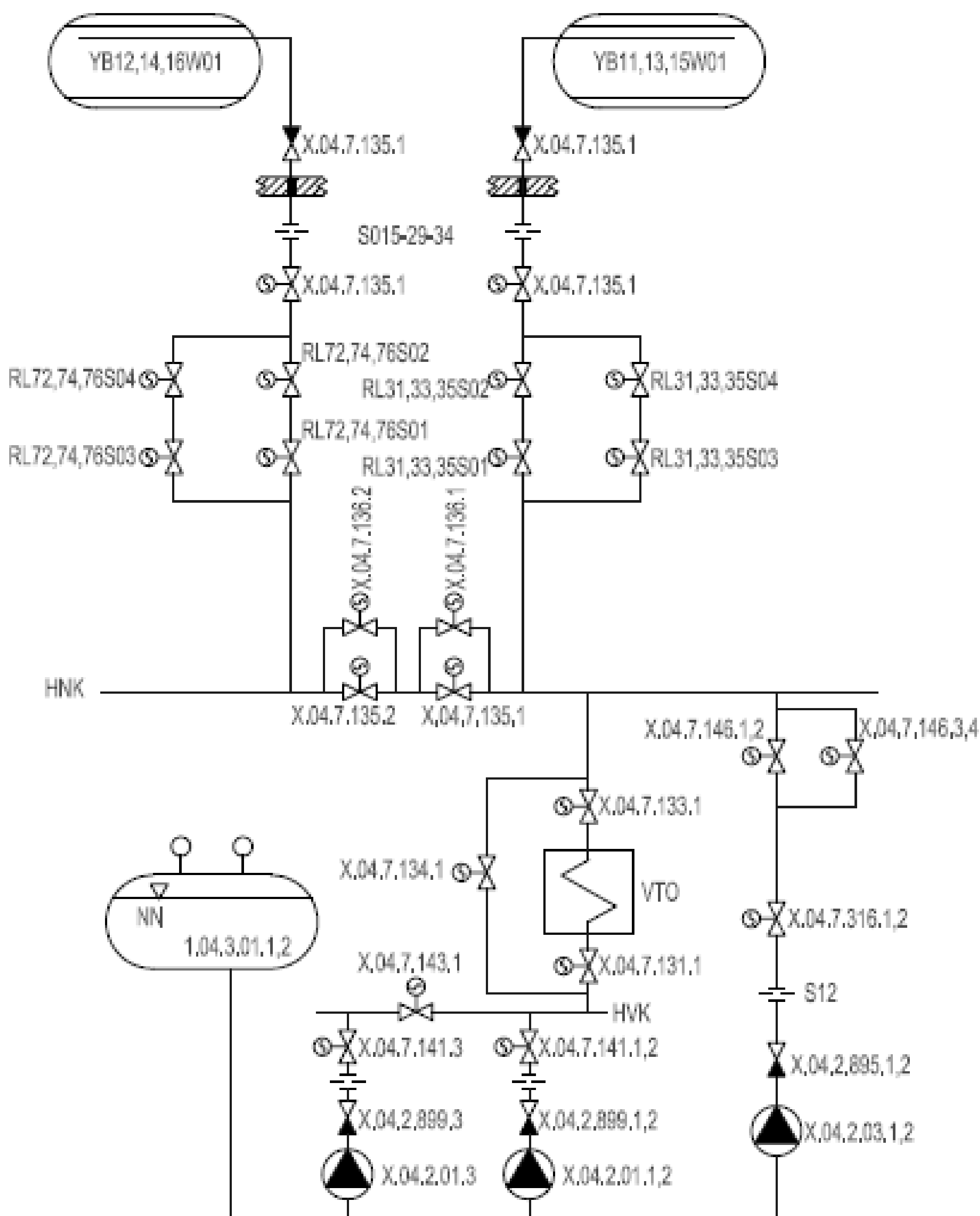
Potrubní systémy normálního napájení parogenerátorů jsou v režimech normálního provozu bloku určeny k napájení parogenerátorů vodou z napájecích nádrží prostřednictvím systému normálního napájení - ENČ, případně havarijního (pomocného) napájení - HNČ. Systém napájecího potrubí tedy zajišťuje normální i nouzové napájení parogenerátorů a tím ovlivňuje provozuschopnost a bezpečnost jaderného bloku. Normální provoz bloku je režim, pod kterým se rozumí režim spouštění, provozu a odstavování bloku. Normálním napájením parogenerátorů je takové napájení, při němž nejsou překročeny povolené meze technologických parametrů a fyzikálních veličin v parogenerátorech a ve vlastním systému napájení parogenerátorů.

5.4.8.2.2 Koncepce projektového řešení systému napájení parogenerátorů

Systém napájení parogenerátorů sestává z potrubí, armatur, napájecích čerpadel, spojovacího materiálu, závěsů, podpěr, tepelné izolace, napájení elektro a SKŘ. Jednotlivé části systému se rozdělují do podsystémů, obdobně jako tomu bylo u systému hlavního parovodu. Podrobný popis některých uvedených komponent systému napájení parogenerátorů je již detailněji popsán v jiných kapitolách tohoto dokumentu, například armatury v kapitole 5.4.12.

Podsystémem systému napájení parogenerátoru je oddělovací systém napájecí vody, který je určen k rychlému a spolehlivému oddělení postiženého parogenerátoru od ostatních částí sekundárního okruhu při porušení těsnosti sekundárního okruhu. Tento systém tvoří rychločinné armatury RLxxS06. Požadovaný čas pro uzavření rychločinných armatur činí 20 s. Zálohu rychločinných armatur tvoří uzavírací armatury na napájecích hlavách RLxxS01(03). Systém je umístěn v podélné etažérce ve stavebním objektu 805 v místnost 425 na podlaží +14,7m. Zařízení jsou kvalifikována jak na normální podmínky, tak na podmínky vznikající při roztržení vysokoenergetických potrubí v jeho okolí.

Druhým podsystém je systém napájecího potrubí, který propojuje sekundární stranu parogenerátoru s napájecími nádržemi, které jsou umístěny v podélné etažérce na podlaží +22,5m a se třemi zásobními nádržemi s demivodou o objemu 1000 m^3 umístěnými na venkovním prostranství ±0,0m mimo objekt HVB. Systém napájecího potrubí dopravuje pracovní médium z napájecí stanice a z výtlaku SHNČ do parogenerátorů v různých provozních režimech včetně dochlazování bloku.



Obr. 75. Systém napájení parogenerátorů – zjednodušené schéma

5.4.8.2.3 Provoz systému napájení parogenerátorů

Potrubní systém napájecí vody je možné rozdělit na systém normálního napájení parogenerátoru prostřednictvím ENČ, systém havarijního (pomocného) napájení prostřednictvím HNČ a systém superhavarijního (nouzového) napájení prostřednictvím SHNČ.

Za normálního provozu bloku se používá systém napájecího potrubí k zásobování parogenerátorů vodou z napájecích nádrží umístěných v podélné etažérce na podlaží +22,5m. Pro napájení je využíváno systému normálního napájení prostřednictvím

napájecích čerpadel (ENČ) přes VT regeneraci a napájecí hlavy parogenerátorů nebo systému havarijního (pomocného) napájení prostřednictvím havarijních napájecích čerpadel (HNČ) přes tytéž napájecí hlavy mimo VT regeneraci.

V havarijních režimech bloku se používá pro napájení parogenerátorů i systém superhavarijního (nouzového) napájení prostřednictvím systému superhavarijních napájecích čerpadel (SHNČ) dodávající demivodu ze zmíněných zásobních nádrží samostatným potrubím přes superhavarijní napájecí hlavy.

Za normálního provozu jaderného bloku jsou vždy plně otevřeny všechny uzavírací armatury napájecí vody. Při vzniku abnormálních podmínek spojených s úniky napájecí vody jsou uzavřeny armatury ručně obsluhou z blokové dozorny. Při iniciaci havarijních podmínek spojených s poklesem tlaku v parogenerátoru je systém automaticky uveden v činnost a armatury jsou uzavírány od signálu ESFAS „Roztržení parovodu“.

5.4.8.2.4 Bezpečnostní požadavky na systém napájení parogenerátorů

Rychločinné armatury RLxxS06 patří mezi bezpečnostní systémy. Uzavírací armatury na napájecích hlavách RLxxS01(03) patří mezi systémy související s bezpečností. Systém napájení parogenerátorů je tedy podle vyhlášky SÚJB č.132/2008 Sb. zařazen do bezpečnostních tříd BT2 a BT3. Současně patří také potrubí napájecí vody dle současně platné vyhlášky SÚJB č. 309/2005 Sb. mezi vybraná zařízení speciálně navrhovaná.

Systém napájení parogenerátorů je dle seismické kvalifikace zařazen do kategorie 1a u něhož je vyžadována plná funkční způsobilost včetně zachování integrity 1b v průběhu a po skončení havarijní události (zemětřesení).

5.4.8.2.5 Zhodnocení provozu systému napájení parogenerátorů

Dosavadní provoz systému napájení parogenerátorů je spolehlivý a bezpečný. Na základě prováděných výsledků kontrol a zkoušek je systém v přijatelném nebo velmi dobrém stavu. Soustava RČA prochází postupnou modernizací ke zlepšení funkcí RČA. Systém plní své funkce. Na systému jsou pravidelně prováděny kontroly a náhrady zařízení podle harmonogramu výměny jednotlivých částí zařízení a zařízení.

5.4.8.2.6 Vyhodnocení připravenosti systému napájení parogenerátorů

Systém napájení parogenerátorů plní svou projektovou funkci a je schopen plnit veškeré požadavky na něj kladené. Systém je pravidelně kontrolován a zkoušen. Dosavadní provoz systému byl provozován v souladu s provozním předpisem a byl bezpečný a spolehlivý.

Technické úpravy realizované po dobu provozu vytvářejí předpoklady spolehlivého provozu systému a jeho životnost se jeví jako dostatečná minimálně do konce projektované doby provozu bloku. Za současně přijatých a postupně realizovaných opatření spočívajících například v postupné výměně některých RČA, zachování stávajícího rozsahu řízení dopadů stárnutí a implementace nápravných opatření a doporučení vyplývajících z analýz je systém schopen bezpečného a spolehlivého provozu minimálně po dobu dalších 10 let.

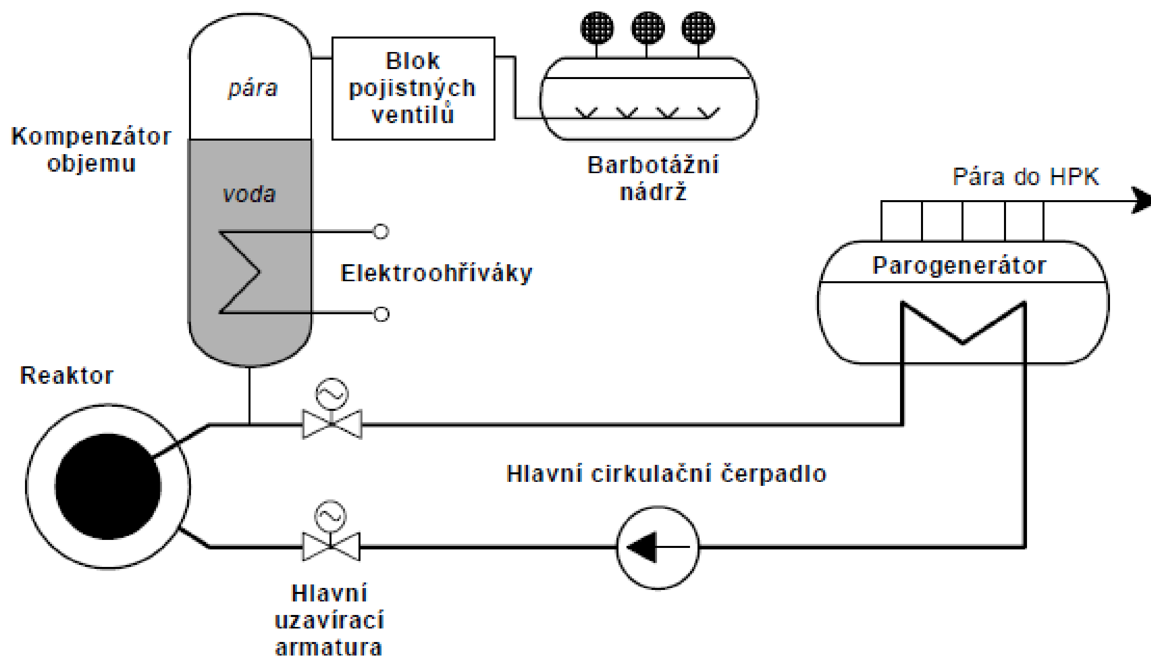
5.4.9 Kompenzátor objemu

5.4.9.1 Účel systému

Kompenzátor objemu je součástí systému kompenzace objemu primárního okruhu. Hlavní účelem systému kompnezace objemu je kontrola, řízení tlaku v primárním okruhu během všech provozních a přechodových stavů včetně najíždění bloku jaderné elektrárny a plní také bezpečnostní fuknkci ochrany před přetlakováním primárního okruhu. Tato problematika je popsána v příslušné kapitole této zprávy. Kompenzátor objemu také vyrovnáná objemové změny primárního chladiva vyvolané změnou teploty tohoto chladiva.

Kompenzátor je připojen k jedné horké větvi primárního okruhu. Sprchy umístěné uvnitř kompenzátoru objemu jsou přes regulační ventily připojené ke studené větmi primárního okruhu. Schéma zapojení kompenzátoru objemu do primárního okruhu je patrné z následujícího obrázku. Součástí kompenzátoru objemu jsou také

elektroohříváky zajišťující náhřev objemu chladiva v kompenzátoru na teplotu systosti a tvorbu parního polštáře pro stabilizaci a regulaci tlaku jak v kompenzátoru tak celém primárním okruhu při provozu na výkonu.



Obr. 76. Schéma systému kompenzace objemu

Na kompenzátor objemu přímo navazuje uzel odlehčovacího ventilu a pojišťovacích ventilů.

5.4.9.2 Koncepce projektového řešení

Kompenzátor objemu KO VVER 440 je navržen jako vertikální celosvařovaná jednoplášťová válcová vysokotlaká nádoba s dvěma eliptickými dny, průlezem, technologickými nátrubky a vnitřní vestavbou.

Tlak v KO se vytváří parním polštářem nad hladinou teplosměnného média, přičemž varu média se dosahuje pomocí elektroohřívačů, ponořených pod jeho hladinou.

Při změnách průměrné teploty primárního chladiva v přechodových režimech spojených se změnou tepelného výkonu reaktoru a při změnách zatížení část teplonosného média protéká z KO do cirkulačního okruhu nebo z okruhu do KO spojovacím potrubím. V kompenzátoru objemu dochází ke změně hladiny.

Při všech jmenovitých režimech práce bloku systém udržení tlaku zamezuje varu primárního média v nejvíce zahřívaných částech okruhu při poklesu tlaku a růstu tlaku na úroveň otevření pojistných zařízení při provozních přechodových procesech spojených s nárůstem tlaku. Pro regulaci tlaku na jmenovité hodnoty se dosahuje zmenšením nebo zvětšením parního polštáře v horní části KO.

Při velkém zvýšení tlaku dochází v kompenzátoru objemu ke zvýšení hladiny a zvyšení tlaku parního polštáře. V takovém případě se otevírají regulační armatury na trase ze studené smyčky a chladnější primární chladivo je přiváděno do horní části KO, kde je tryskami rozstřikováno (sprchový systém v KO) do parního polštáře KO. Dochází k ochlazení a kondenzaci páry a snížení tlaku. Uvnitř nádoby kompenzátoru objemu je instalován ochranný plášť zabraňující přímému kontaktu vstřikované chladné vody při sprchování parního polštáře s tělesem tlakové nádoby kompenzátoru. Bez tohoto pláště by docházelo k nepřípustným tepelným pnutím v materiálu kompenzátoru objemu.

V případě, že tlak nadále stoupá, bez ohledu na činnost vstřikovacího zařízení, se při nastavených hodnotách nejdříve otevírá odlehčovací ventil, v případě, že tlak i nadále roste, otevírají se pojistné ventily KO a pára je potrubím odvedena do barbotážní nádrže.

Sprchového systému je rovněž využíváno ke vstřikování vody do KO v režimu vychlazování I.O. samostatnou trasou od čerpadel normálního doplňování.

V dolní části kompenzátoru objemu jsou instalovány elektroohříváky zajišťující při normálním provozu bloku nominální hodnotu tlaku v primárním okruhu. Ohřevem dochází k výparu média a tím zvýšení tlaku parního polštáře. Elektroohříváky také zajišťují ohřev média během najíždění bloku.

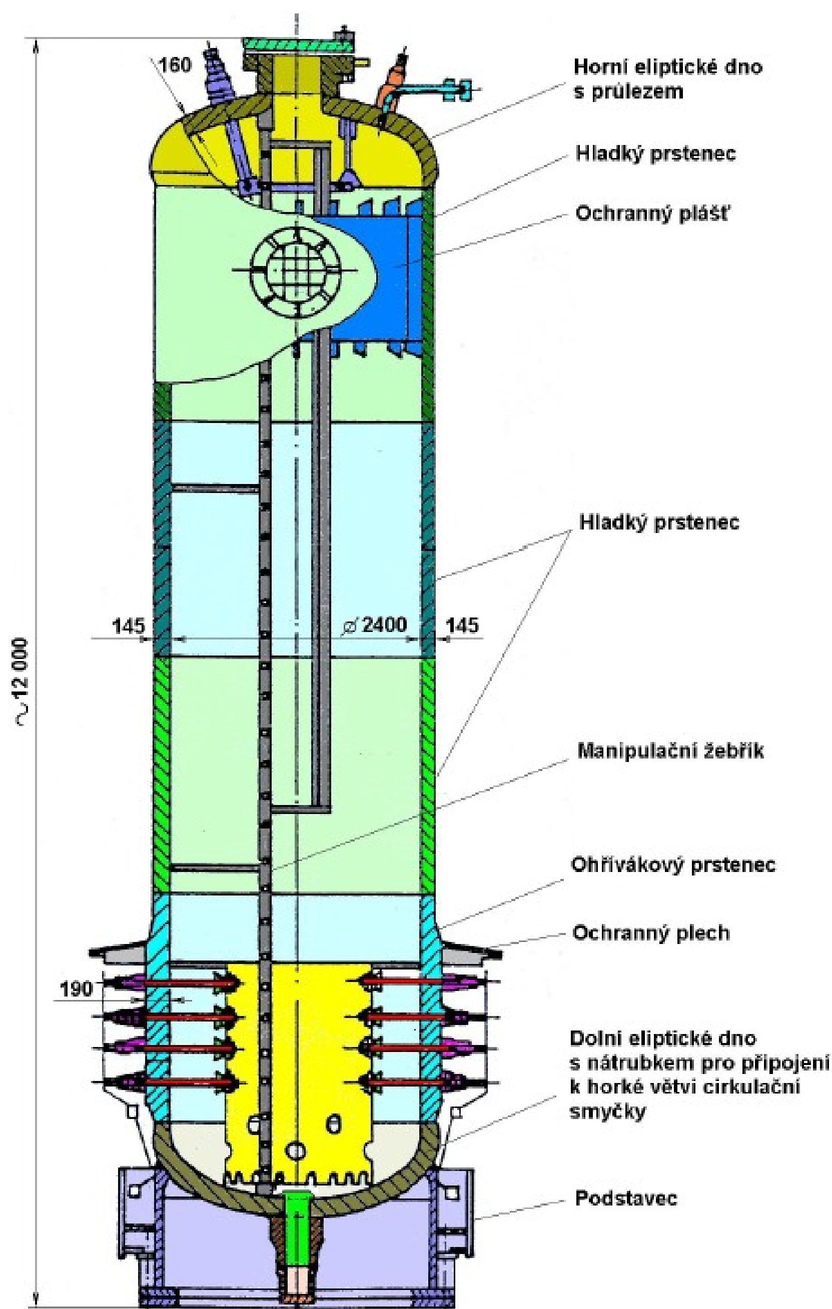
Jejich celkový počet je 108 ks s tím, že každý z nich má výkon 15 kW. Vlastní elektroohřívák je tvořen třemi samostatnými topnými spirálami o výkonu 5kW. Všechny ohříváky jsou napájeny střídavým proudem o napětí 380 V.

Pro vytvoření minimálního počátečního tlaku nutného pro provoz HCČ při ohřevu I.O. se používá stlačený dusík (N2).

Tab. 33. Parametry kompenzátoru objemu

Kompenzátor objemu	
	TECHNICKÝ POPIS ZAŘÍZENÍ
Rozměry	vnitřní průměr: DN 2396 mm výška tělesa: 12 000 mm
Tloušťka stěny	kroužků 145^{+3} mm spodního kroužku v oblasti EOKO 190^{+3} mm vík 160^{+3} mm
Materiál pláště KO	22 K
Materiál návaru	08CH18N10T
Tloušťka návaru	9 ± 2 mm
Hmotnost KO	127 000 kg
Provozní přetlak	12,26 MPa
Výpočtový přetlak	13,8 MPa
Přetlak při těsnostní zkoušce I.O.	13,72 MPa
Přetlak při pevnostní zkoušce I.O	16,34 MPa (Výdrž na tlaku 20 minut)
	TECHNICKÉ PODMÍNKY PROVOZU
Nejvyšší přípustná teplota stěny KO	325 °C
Nejnižší přípustná teplota stěny při přetlaku p >3,4 MPa	55 °C
Nejnižší přípustná teplota stěny při přetlaku p < 3,4 MPa	20 °C
Největší přípustná ztráta výkonu EOKO	10 % celkového výkonu EOKO, v případě větší ztráty výkonu je třeba přistoupit k výměně topných spirál
max. ΔT mezi I.O. a vodní náplní KO při náhřevu bloku	150°C
max. rychlost náhřevu KO	40 °C/hod
max. rychlost ochlazování KO	30 °C/hod
max. ΔT mezi teplotou páry v KO a teplotou vstřikované vody do KO	80° C

Δ T mezi teplotou chladiva v KO a T stř. I.0. za nom.provozu	30 ÷70 °C
max.Δ T mezi teplotou media v KO a T hor. větve I.O	80 °C
max. rychlost změny tlaku v I.O.	2,9 MPa/min
interval pevnostních zkoušek	l x 4 roky
min. hladina v KO	2 560 mm dle H_{celk}
nominální hladina v KO	5060 mm dle H_{celk}
Pracovní medium v KO	musí splňovat kriteria dle PP P012j, kap. 5.1.7
Dusík přiváděný do KO	nesmí obsahovat olej



Obr. 77. Kompenzátor objemu

5.4.9.3 Provoz systému

Normální funkce KO v případě nominálního provozu bloku spočívá v udržení pracovního tlaku v I.O za provozu bloku pomocí parního polštáře a v kompenzaci objemových změn chladiva I.O. během přechodových režimů spojených se změnou střední teploty I.O.

V ustáleném režimu je tlak v KO a tudíž i v primárním okruhu udržován pomocí regulovaného ohřevu elektroohříváků. Při změnách zatížení parogeneračního zařízení a následných změnách objemu chladiva reaktoru se tlakové výkyvy omezují automaticky zvýšením ohřevu (zvýšení tlaku) nebo vstřikováním "chladného" chladiva (snížení tlaku) do parního prostoru KO nebo částečným odpouštěním páry přes pojišťovací ventily do barbotážní nádrže.

- **Popis regulace tlaku v primárním okruhu**

  Regulátor tlaku dostává impuls od tlakových čidel, umístěných na smyčkách hlavního cirkulačního okruhu a vypracovává impulsy pro řízení elektroohříváků kompenzátoru objemu a ventilů pro vstřikování vody z "chladné" větve smyčky. Při normálním režimu se jednotlivé skupiny elektroohříváků zapínají a vypínají automaticky v závislosti na tlaku v okruhu.

  Zadaná hodnota přetlaku 12,25 MPa se udržuje s přesností ±1,0% periodickým zapojováním jedné skupiny elektroohříváků. 1. skupina ohřívačů pracuje trvale - skupina regulační.

- **Regulace hladiny v KO**

  V závislosti na zatížení reaktoru se hladina v kompenzátoru mění následkem změny střední teploty chladiva resp. jeho objemu. Při změně zatížení od 100 % do chodu naprázdno klesne hladina v KO až o 2000 mm. Rozměry kompenzátoru jsou takové, že změny hladiny o 2000 mm vyrovná samotný kompenzátor, aniž by utrpěla jeho provozuschopnost. Regulátor hladiny v kompenzátoru objemu udržuje hladinu v takových mezích, aby kompenzátor byl schopen v libovolných režimech splnit svoji funkci udržování tlaku v primárním okruhu a převzít teplotní změny objemu chladiva. Tuto funkci regulátor plní tak, že otevírá (uzavírá) armatury na odpouštění chladiva z primárního okruhu.

- **Vstřikování vody do KO v režimu vychlazování I.O.**

Je uskutečňováno linií s regulovatelným přívodem doplňovací vody od výtlaku doplňovacích čerpadel. Množství se reguluje automaticky regulační elektroarmaturou impulsem od regulátoru rychlosti snižování teploty v KO v režimu dochlazování. Vstřik vody je regulován tak, aby byla dodržená zadaná rychlost dochlazování 30 °C/h a přitom rozdíl teplot v KO a v horké větvi jedné ze smyček byl 50 °C.

5.4.9.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Kompenzátor objemu (KO), je zařízení (tlaková nádoba) ve vertikálním uspořádání osy souměrnosti, které je určeno k vyrovnávání (kompenzaci) tlakových a objemových změn chladiva primárního okruhu (I.O.) během přechodových režimů spojených se změnou střední teploty chladiva I.O. Důležitou funkci sledovaného zařízení lze tedy definovat jako zajištění integrity. Toto zařízení je zařazeno do BT1.

V průběhu provozu jaderné eletrárny byla realizována opatření s cílem zajistit stabilitu TN KO v případě seismické iniciační události charakterizovanou PGA = 0,1 g. Bylo realizováno technické řešení, které dodatečně zodolnilo kompenzátor objemu tak, že kotvení TN KO zajistí:

• Hodnotu koeficientu reálné seismické porušitelnosti HCLPF = 0,1 g. Vnější budící síly jsou zachyceny a přeneseny do monolitické stavební části bez rizika porušení integrity.

• Je zajištěna volná dilatace TN KO v celém rozsahu pracovních teplot tak, aby ve stěnách TN KO nedocházelo ke vzniku přídavného namáhání.

• Seismické zodolnění má minimální vliv na stávající technologii při minimálním rozsahu stavebních prací (úpravy při osazení konzol).

• Řešení umožňuje jednoduché nastavení a seřízení podpěr do funkční podoby při montáži zařízení.

• Geometrie podpěr, které spojují prstenec s pevnou konzolou zaručuje eliminaci tepelné dilatace prstence vlivem změny teplot.

• Použité materiály nebudou v místě styku s tělesem KO způsobovat korozi TN KO.

• Prstenec nebude bránit kontrolám svarů.

• Konstrukční řešení má minimální nároky na údržbu.

• Je zaručena minimální životnost do r. 2025.

• Kladné stanovisko SÚJB k realizaci Rozhodnutí SÚJB č. 197/95 k povolení dalšího provozu a R.č. 287/98 pro TN KO po realizaci této akce.

• Zařízení zodolnění nepatří mezi vybraná zařízení podle vyhlášky SÚJB č.. 132/2008 Sb. ani VZSN podle vyhlášky SÚJB č. 309/2005.

Zodolnění bylo provedeno pomocí prstence s pružnou vložkou o definované tuhosti osazeného na povrch KO na úrovni podlaží +18,9 m.

Prstenec s vložkou je spojen s podlahou pomocí seřizovatelných vzpěr, které budou ukotveny v 8 kotevních patkách k podlaze.

Kotevní patky budou sloužit pro přenos zatížení při seizmické události od tělesa KO do stavby. Na prstenec jsou pomocí křížových kloubů připojena táhla. Po usazení prstence v předepsané výšce jsou táhla pomocí dalších křížových kloubů připojena ke kotevním patkám pomocí lepených kotev HVA s osazením chemických patron HVU a kotevních šroubů HAS-E.

Před instalací kotevních patek bylo nutno nerovnosti podlahy v boxu na +18.9 m vymezit pomocí vyrovnávacích podložek, které budou zároveň sloužit jako distanční podložky pro přenos zatížení na oblícovku. Dotažení kotevních šroubů bylo provedeno před svařením oblícovky s vyrovnávací podložkou a kotevní patkou.

5.4.9.5 Zhodnocení provozu systému

Dosavadní provoz KO ukazuje, že komponenta nevykazuje v rozsahu prováděných provozních kontrol žádné vážnější závady. Neplánovaná odstávka z důvodů poruchy na KO se za celou dobu provozu neuskutečnila.

Slabším místem je spojovací materiál. Celý komplex problémů se spojovacím materiálem byl ve výrobním závodě řešen, včetně příslušných opatření:

Po dosavadních provozních zkušenostech byly u výrobce pro výrobu nových ND provedeny úpravy a změny v tolerančním poli uložení svorníků i změna materiálu.

Z posuzovaných hledisek se jeví kompenzátor objemu jako bezporuchová komponenta u všech čtyřech bloků JE EDU a zabezpečuje požadavky provozní a jaderné bezpečnosti.

5.4.9.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Komponenta byla navržena na celou životnost jaderné elektrárny. Během provozu se nevyskytly žádné události omezující životnost komponenty. Kompenzátor objemu plní projektovou funkci a jsou také plněny předpoklady pro bezpečný provoz systému po

následujících 10 let. Nedostatky částí systému z hlediska spojovacího materiálu jsou řešeny nápravnými opatřeními.

5.4.10 Odlehčovací a pojišťovací ventily kompenzátoru objemu

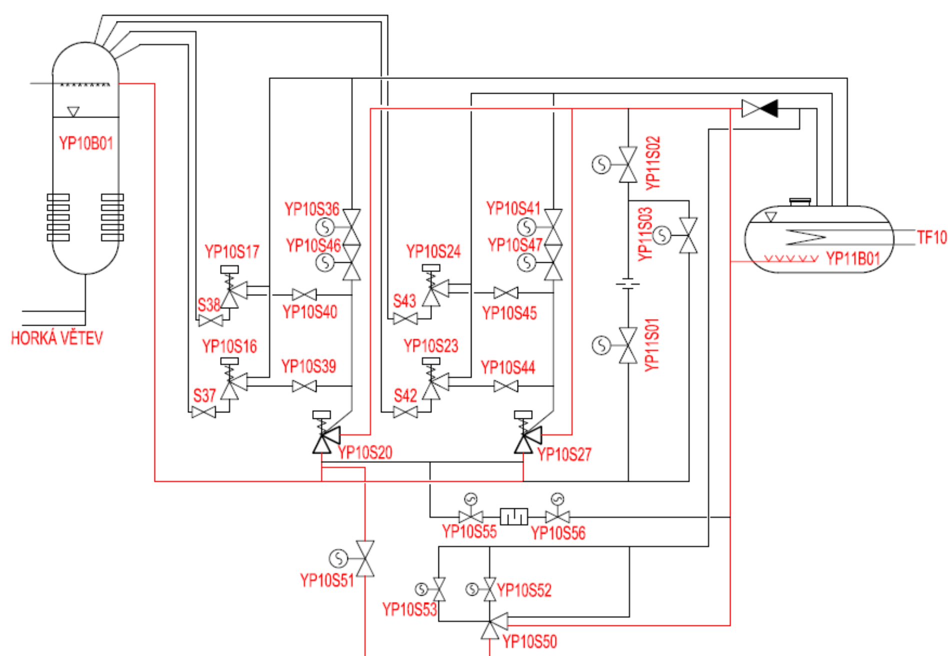
5.4.10.1 Účel systému

Tento systém je tvořen dvěma hlavními pojišťovacími ventily a jedním odlehčovacím venitem. Pojišťovací ventily kompenzátoru objemu chrání komponenty a potrubí primárního okruhu neoddělitelné od reaktoru před porušením integrity, která by mohla být způsobena nedovoleným nárůstem tlaku v primárním okruhu. Výkon pojišťovacího systému kompenzátoru objemu musí být takový, aby zabránil zvýšení tlaku primárního okruhu ve všech projektem předpokládaných stavech nad 110 % od jeho projektové (výpočtové) hodnoty tzn. S dostatečnou rezervou. Hltnost jednoho HPV je 108 tun páry/hod a hltnost OV 56 tun páry za hodinu. Při zvýšení tlaku v I.O se nejdříve otevírá odlehčovací ventil při tlaku 13,8 MPa, první hlavní pojišťovací ventil KO při tlaku 14,4 MPa, druhý hlavní pojišťovací ventil KO při tlaku 14,6 MPa.

Odlehčovací ventil KO je automaticky ovládán na základě tlaku a teploty primárního okruhu, případně je prioritně používán při vychlazování primárního okruhu metodou "Feed and Bleed".

Pojišťovací a odlehčovací systém kompenzátoru objemu patří mezi nejdůležitější bezpečnostní systémy primárního okruhu. Selhání tohoto systému při současném nedovoleném nárůstu tlaku v primárním okruhu by mělo za následek destrukci komponent primárního okruhu spojenou se ztrátou chladiva.

Dispozičně je soubor PV KO včetně spojovacího potrubí a BN umístěn v neobslužném prostoru boxu PG v hermetické zóně.



Obr. 78. Schéma systému pojistných ventilů KO

5.4.10.2 Koncepce projektového řešení

Pojišťovací a odlehčovací systém kompenzátoru objemu se skládá z následujících hlavních částí:

- o uzel odlehčovacího ventilu KO,
- o uzel hlavních pojišťovacích ventilů,
- o barbotážní nádrž.

5.4.10.2.1 Odlehčovací systém kompenzátoru objemu

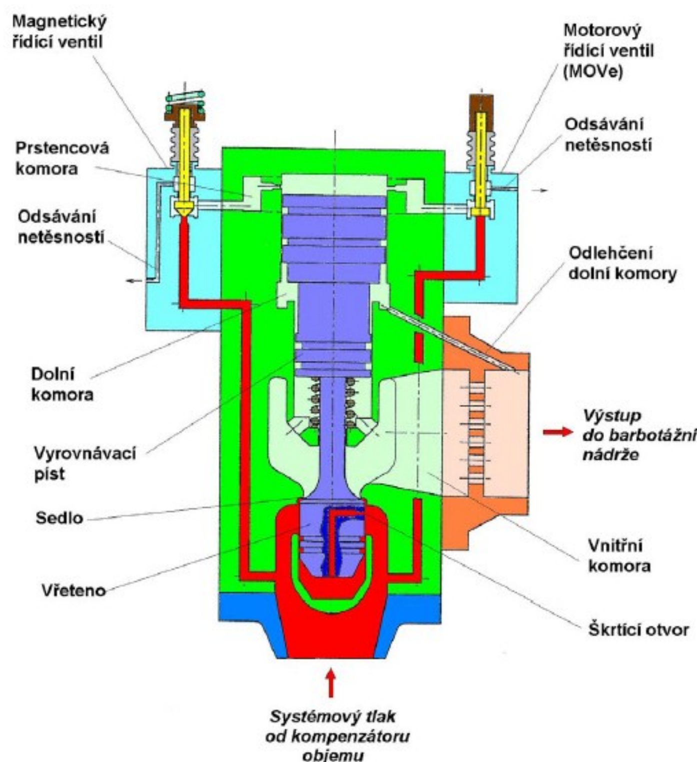
Třetím pojistným zařízením chránícím KO a tím i celý I.O. před účinky nepřípustného zvýšení tlaku v I.O. je odlehčovací ventil kompenzátoru objemu.

Výkon odlehčovacího ventilu kompenzátoru objemu (OV KO) je stanoven tak, aby bylo zabráněno otevření hlavních pojišťovacích ventilů kompenzátoru objemu při přechodových procesech, ve kterých může tlak v KO dosáhnout hodnoty pro jeho otevření a aby bylo možno dochladit blok metodou "Feed and Bleed" v případě následující hypotetické havárie:

- o Úplná ztráta napájení všech PG napájecí vodou.
- o Ztráta elektrického napájení, nezregulování TG na úroveň vlastní spotřeby.

Odlehčovací ventil je součástí systému z toho důvodu, že hlavní pojišťovací ventily jsou velmi spolehlivé při otevíraní. To znamená, že velmi dobře plní svoji bezpečnostní funkci, ale jsou již poměrně nespolehlivé při uzavíraní. A po vyčerpání cyklů otevření mohou být netěsné a mohlo by docházet k úniku chladiva z primárního okruhu.

Z tohoto důvodu je v systému odlehčovací ventil, který je konstruován, aby pokryl drtivou většinu přechodových stavů a odchylek od normálního provozu. V případě netěsnoti odlehčovacího ventilu je na trase mezi kompenzátorem objemu a odlehčovacím ventilem instalována uzavírací armatura.



Obr. 79. Odlehčovací ventil kompenzátoru objemu

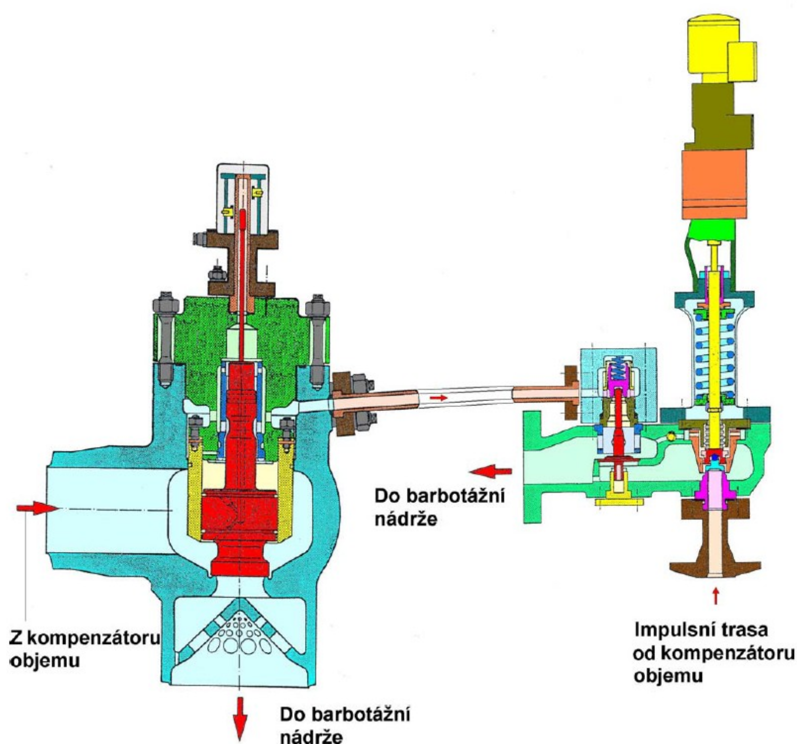
5.4.10.2.2 Pojišťovací systém kompenzátoru objemu

V případě, že by v důsledku poruchy narůstal tlak v I.O., je celý systém jištěn proti nepřípustnému zvýšení tlaku dvěma komplety hlavních pojišťovacích ventilů od firmy SEMPELL. Jedná se o pružinové pojišťovací ventily ovládané dvojicí impulsních pojistných ventilů (IPV) taktéž od firmy SEMPELL. K otevření HPV postačuje otevření jednoho impulsního pojistného ventilu. Impulsní pojistný ventil pracuje v závislosti na tlaku páry v KO a je opatřen elektromagnetem, který do určité hodnoty tlaku páry v KO vytváří přítlačnou sílu. Odfuk impulsních pojistných ventilů je zaveden společnou trasou do kolektoru v BN a to nad hladinu v BN. Toto řešení brání případnému falešnému uzavření HPV.

Každý z impulsních pojistných ventilů je připojen k parnímu prostoru KO samostatnou trasou a prostřednictvím samostatného nátrubku umístěným v horní části pláště tlakové nádoby KO. Mezi KO a HPV jsou umístěny ruční armatury, kterými lze impulsní pojistný ventil odstavit. Hlavní pojistné ventily, impulsní pojistné ventily a pomocné armatury tvoří jeden montážní celek

Výkon pojišťovacího systému kompenzátoru objemu je stanoven tak, aby zabránil zvýšení tlaku primárního okruhu ve všech projektem předpokládaných stavech nad 110 % od jeho projektové hodnoty. Vlastní dimenzování PV KO vychází z následující hypotetické nehody:

- Výchozí výkon reaktoru je 104 % N_{nom} a dojde k:
- Selhání přepouštěcích stanic odvádějících přebytek páry do hlavních kondenzátorů (PSK) a přepouštěcích stanic odvádějících páru do atmosféry (PSA).
- Ztrátě elektrického napájení pracovního i rezervního.
- Selhání systému vstřiků do kompenzátoru objemu.
- Zpoždění působení havarijní ochrany RTS od signálu výpadku více než 3 pracujících HCČ (k jejich výpadku dojde od ztráty elektrického napájení).
- Neuvažování působení OV KO.



Obr. 80. Hlavní pojistný ventil (vlevo) s impulzním řídícím ventilem (vpravo)

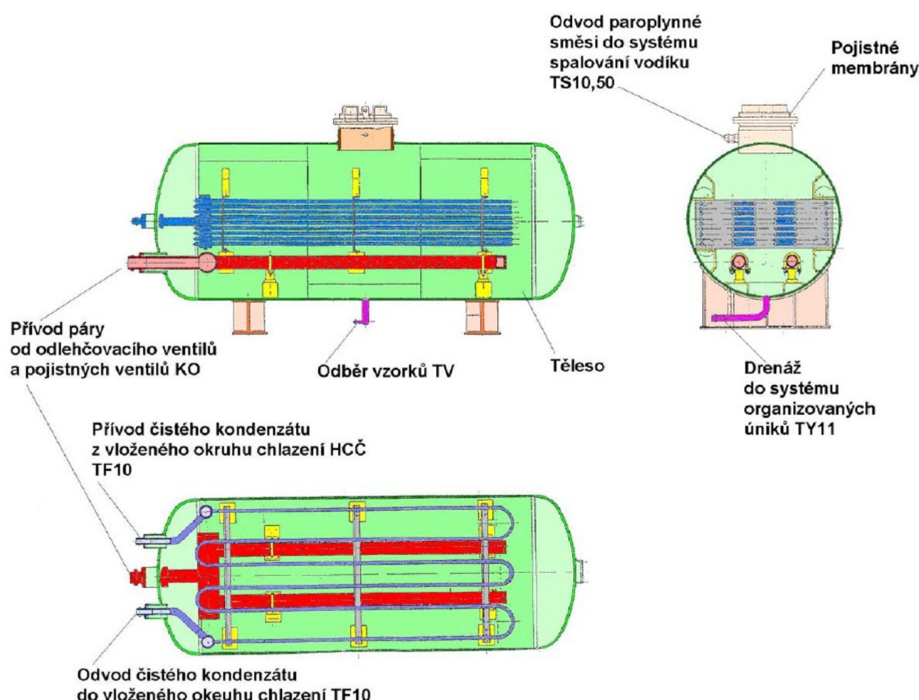
5.4.10.2.3 Systém barbotáže

Barbotážní nádrž je horizontální tlaková nádoba, která slouží k:

- Shromažďování odpouštěného N_2 z KO v průběhu náhřevu bloku.
- Kondenzaci páry z KO při zapracování pojišťovacích nebo odlehčovacího ventilu KO.
- Kondenzaci páry z KO v případě podcházení pojišťovacích ventilů a armatur na uzlu pojišťovacích a odlehčovacího ventilu.

Výkon (rozměry) barbotážní nádrže je stanoven na základě splnění podmínky kondenzace veškeré páry přiváděné do ní při hypotetické havárii na kterou jsou počítány pojišťovací ventily, což je 60 kg páry/s (dva pojišťovací ventily kompenzátoru objemu, každý s výkonem 30 kg páry/s.). Při poruše pojišťovacího ventilu může barbotážní nádrž přijmout bez narušení pojistné membrány pouze 1 500 kg páry při počáteční teplotě

vody v barbotážní nádrži 60 °C a cca 1 800 kg při teplotě 40 °C. Tlak v nádrži se přitom zvýší do 0,49 MPa. Chladící plocha a množství chladící vody jsou postačující k tomu, aby se během 1 hodiny vlivem schlazení a následným doplněním barbotážní nádrž uvedla do výchozího stavu. V nominálním režimu chladící schopnost barbotážní nádrže postačuje pro příjem úniků páry od pojišťovacích ventilů v množství 250 kg/h bez zřejmého zvýšení teploty.



Obr. 81. Barbotážní nádrž

5.4.10.3 Provoz systému

Za normálního provozu bloku jsou všechny pojišťovací ventily uzavřené, připravené na plnění bezpečnostní funkce. Během havarijních podmínek spojených s nárůstem tlaku v I.O jsou PV KO při překročení nastavených úrovní tlaku otevírány automaticky. OV KO má zabránit, aby nedošlo k otevření HPV (otevírá při nižším tlaku v I.O., než na jaký jsou nastaveny impulsní pojistné ventily) a zároveň je ho možné použít pro provozní režim "Feed and Bleed" otevřením z blokové nebo nouzové dozorny v případě ztráty dochlazování ze strany II.O. Třetí funkcí OV KO je ochrana TNR proti natlakování za studena, aktivaci ochrany provádí ručně dálkově obsluha BD.

Při normálním provozním režimu jsou HPV i IPV v poloze zavřeno. Zavřen je rovněž OV KO.

Impulsní pojistné ventily jsou konstruovány jako pružinové pojišťovací ventily s elektromagnetickým přitížením. To znamená, že těsnost řídícího ventilu je zajištěna pomocí pružiny a navíc je ventil dotěsňován elektromagnetem.

Hlavní pojišťovací ventily jsou udržovány v poloze zavřeno vlastním tlakem media tak, že plocha nad pístem, který je spojen vřetenem s kuželkou, je větší než pod ním. Tlak je přiváděn nad píst vrtanými kanály v těle pístu. Vřeteno a kuželka je zatlačována do sedla silou, rovnající se součinu tlaku a plochy kuželky v sedle. Čím je vyšší tlak, tím je vyšší těsnící síla.

Elektromagnetické přitížení řídících ventilů je trvale napájeno elektrickým proudem.

V uzlu OV KO jsou oba řídící ventily v uzavřené poloze a horní prostor pístu odlehčovacího ventilu je tlakově odlehčen. Na vstupu do OV KO působí provozní tlak, který vytváří dostatečně velkou sílu, působící na kuželku OV KO, čímž je zajištěna vysoká těsnost ventilu. Magnet řídícího magnetického ventilu je při normálním provozním režimu bez napětí.

BN je zaplněna na nominální hladinu roztokem H3BO3 o koncentraci, která je alespoň stejná, jako koncentrace H3BO3 v chladivu I.O. Pro ředění plynů v BN je do BN přiváděn NT dusík. Plynná směs je pak přes regulační ventil odváděna do systému spalování vodíku v množství cca 2 m^3/hod. Vodní objem BN je chlazen vloženým okruhem, který zajišťuje provozní teplotu média v BN v rozmezí 25 - 50 °C. Teplota je regulována změnou průtoku vody vloženého okruhu.

5.4.10.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Systém PV KO patří mezi výkonné (akční) systémy, i když jejich činnost je výsledkem spolupráce aktivních prvků (elektromagnet) a pasívních prvků (pružina). Systém se podílí na plnění následujících bezpečnostních funkcí:

- Udržet celistvost tlakové hranice primárního okruhu reaktoru: PV KO včetně OV KO.
- Udržet dostatečné množství chladiva v reaktoru pro chlazení aktivní zóny v havarijních podmínkách a po jejich odeznění bez porušení tlakové hranice primárního okruhu: OV KO (Feed & Bleed na I.O).

PV KO jsou zařazeny mezi bezpečnostní systémy, z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 jsou zařazeny do BT1 a BT2.

Potrubní trasy mezi KO a PV KO jsou dále zařazené do seznamu VZSN (vybrané zařízení speciálně navrhované) podle vyhlášky SÚJB č. 309/2005.

5.4.10.5 Vyhodnocení provozu a připravenosti systému na další provoz

Z provedených analýz PV KO a OV KO a z bezpečnostních analýz vyplývá, že zvýšení tepelného výkonu reaktoru na 1444 MW nemá vliv na pojišťovací a odlehčovací systém kompenzátoru objemu. Systém svou stávající kapacitou vyhovuje i při zvýšené výkonové hladině bloku 1444 MW. Z analýz vyplývá, že současné nastavení otvíracích a uzavíracích tlaků PV KO a OV KO plní požadovanou bezpečnostní funkci a tedy i KO vyhovuje bezpečnostním požadavkům.

Na základě vyhodnocení výsledků výkonnosti a stavu systému je možné konstatovat, že celkový fyzický stav zařízení systému PV KO je ve velmi dobrém stavu, parametry spolehlivosti systému jsou v očekávaných mezích a systém je možné dále bezpečně provozovat.

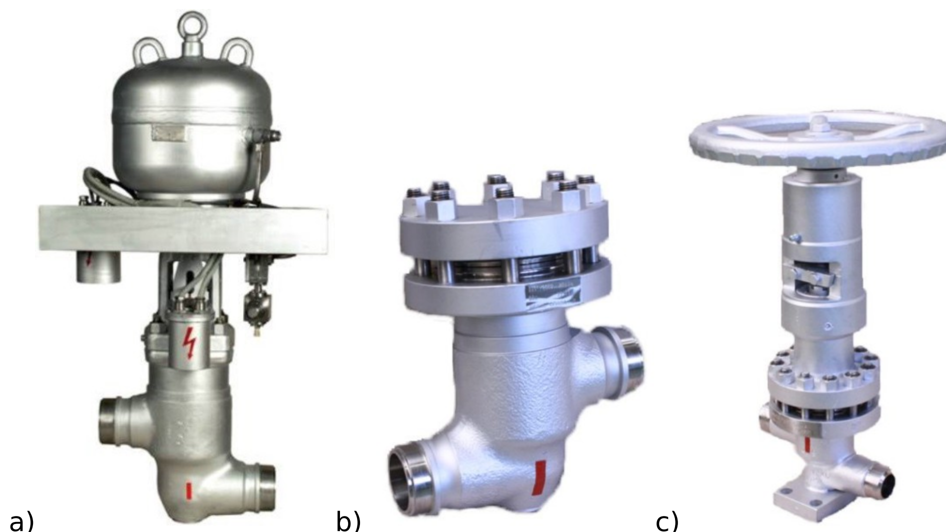
Pojišťovací a odlehčovací systém kompenzátoru objemu je tvořen zčásti sovětskou dodávkou, z části dodávkou firmy Modřanská potrubní a Sempell. Systém byl navržen podle platných předpisů a norem.

5.4.11 Armatury

Všechny armatury, jejich volba, uspořádání, typy a jmenovité světlosti, byly navrženy v souladu se sovětským technickým projektem podle předpisů „Pravidla pro výstavbu a bezpečný provoz jaderných zařízení 1973“ (AES). Konstrukčně byly řešeny podle zásad „Všeobecné technické požadavky“ VTP 87 dokumentu MHS Interatomenergo. Armatury technologického zařízení primární části a armatury vybraných okruhů sekundární části JE typu VVER související s bezpečností byly konstruovány, vyráběny a dodávány dle „Všeobecných technických podmínek pro armatury technologické části JE typu VVER“ TPE 10-40/1572/78 v platném znění ke 2.

11. 1981. Ostatní armatury byly dodávány v souladu s tehdy platnými ČSN a Oborovými normami (ON) bez jakékoliv souvislosti výše uvedenými technickými podmínkami.

V současnosti jsou armatury určené pro JE s reaktory typu VVER řešeny a vyrobeny v souladu se zásadami uvedenými v dokumentu „Všeobecné technické požadavky“ označeném VTP-87 (OTT-87) - Armatury pro zařízení a potrubí jaderných elektráren (se změnami z 9. 11. 1991). VTP-87 jsou závazné pro všechna ministerstva, úřady, organizace a podniky, které projektují nebo vyrábějí armatury pro jaderná zařízení (ATEC, AST, ASPT) s reaktory VVER.



a) b) c)

Obr. 82. Příklad armatur pro jadernou energetiku

a) Rychločinná vlnovcová armatura s pneumatickým ovladáním
b) Zpětná armatura
c) Vlnovcová uzavírací a regulační armatura

Zdroj: Oficiální webové stránky fi ARAKO spol. s.r.o.: http://www.arako.cz/

5.4.11.1 Konstrukční řešení armatur

Základní technické údaje a charakteristiky armatur jsou uvedeny v technických podmínkách. Údaje, které musí být uvedeny, jsou parametry armatury (tlak, teplota), materiál tělesa, ovládání, rozměr, místo montáže, zda jsou s vysílačem dálkového ovládání nebo bez něj. Armatury jsou určeny pro provoz s jednou nebo více pracovních látek. Konkrétní pracovní látka musí být také uvedena v technických podmínkách dané armatury. Dalšími parametry, které musí splňovat předepsané limity, jsou například těsnost, doba pro otevření a uzavření atd.

Podle parametrů, aktivity a přístupnosti za provozu se armatury dělí do tří bezpečnostních tříd dle OPB-88 (Základní ustanovení zajištění bezpečnosti jaderných objektů PN AE G-1-011-89) a tří skupin (a-c) dle pravidel AES. Skupiny korespondují s kategoriemi svarových spojů tak, aby byla zaručena spojitost požadavků kladených na materiály a svarové spoje potrubí a armatury.

Tab. 34. Klasifikace armatur dle OPB-88

BT, skupina	*Výpočtový přetlak*	*Určení a podmínky provozu*
1 A	do 20 MPa	Armatura, která se vztahuje k 1. třídě bezpečnosti dle OPB-88 (skup. A dle „Pravidel AES“)
2 BIIa	□ 5,0 MPa	Armatura, která se vztahuje ke 2. třídě bezpečnosti dle OPB-88 (skup. B dle „Pravidel AES“, pracující trvale nebo periodicky

2 BIIb	5,0 MPa	v kontaktu s teplonosičem o aktivitě větší nebo rovné 10^{-5} Ci/l, avšak nepřístupnou pro obsluhu při provozu)
2 BIIIa 2 BIIIb 2 BIIIc	5,0 MPa 1,7÷5,0 MPa 1,7 MPa a nižší atmosférického tlaku (vakuum)	Armatura vztahující se ke 2. třídě bezpečnosti dle OPB-88 (skup. B dle „Pravidel AES“, pracující s teplonosičem o aktivitě menší než 10^{-5} Ci/l dostupnou pro obsluhu při provozu)
3 CIIIa 3 CIIIb 3 CIIIc	5,0 MPa 1,7÷5,0 MPa 1,7 MPa a nižší atmosférického tlaku (vakuum)	Armatura vztahující se k 3. třídě bezpečnosti dle OPB-88 (sk.C dle „Pravidel AES)

Konstrukce armatur musí zajistit vnější těsnost, vnitřní těsnost zajišťuje na maximálně dosažitelnou úroveň. Konstrukční stálost armatur se zajišťuje materiálovým složením, povrchovými ochranami, kontrolou a úpravou pracovní látky proudící armaturou. Funkceschopnost armatur se ověřuje zkouškami prototypů, zkouškami ve výrobě a periodickými zkouškami za provozu.

5.4.11.2 Požadavky na armatury

Pro výrobu základních součástí armatur jsou povoleny materiály, které vyhovují požadavkům AES. Armatury, které jsou ve styku s chladivem primárního okruhu, nesmí mít obsah kobaltu vyšší než 0,2%. Požadavek na obsah kobaltu se nevztahuje na vlnovce. Kobalt je vyloučen z důvodu jeho možné aktivace. Přídavné materiály pro svařování, svarové spoje a návary musí odpovídat požadavkům OP (Zařízení a potrubí AES. Svary a návary. Základní ustanovení. PN AE G-7009-89), PK (Zařízení a potrubí AES. Svary a návary. Pravidla kontroly. PN AE G-7-010-89) a technické dokumentaci.

Požadavek na odolnost armatur vůči vnějším vlivům se řídí parametry prostředí, kde má být armatura instalována. Parametry prostředí pro armaturu určuje provozovatel JE při zadání konstrukce nové armatury.

Tab. 35. Příklad zadání návrhových parametrů okolního prostředí pod obálkou JE s reaktorem VVER použité pro projektování

Parametr	*Normální provozní režim*	*Provozní režim s narušeným odvodem tepla*	*Havarijní režim „malého úniku“*	*Havarijní režim „velkého úniku“*
Teplota	20÷60 °C	5÷75 °C	do 90 °C	do 150 °C
Absolutní tlak	0,085÷0,103 2 MPa	0,05÷0,12 MPa	do 0,17 MPa	do 0,5 MPa
Relativní vlhkost	do 90 %	do 100 %	parovzdušná směs	parovzdušná směs
Úrovně záření	do 100 rad/hod	do 100 rad/hod	do 100 rad/hod	do 10^5 rad/hod
Doba trvání režimu	-	do 15 hod	-	-
Četnost vzniku režimů	-	1 případ/rok	0,5 případů/rok	1/30 případů/rok
Tlak po havárii	-	-	0,05÷0,12 MPa	0,05÷0,12 MPa
Teplota po havárii	-	-	5÷60 °C	5÷60 °C

Doba trvání havarijního tlaku a teploty	-	-	do 5 hod	do 10 hod
Doba trvání pohavarijního tlaku a teploty	-	-	do 720 hod	do 720 hod

Spolehlivost armatur je jedním z nejdůležitějších parametrů. Výpočet bezporuchového stavu se provádí v etapě zpracování projektu a u armatur pro bezpečnostní systémy se potvrzuje buď na základě zkoušek, nebo na základě provozního sledování. Armatury (s výjimkou nerozebíratelných zpětných klapek) patří do kategorie opravitelných obnovovaných výrobků s předepsaným režimem obnov, daným dobou provozu. Za provozu se připouštějí preventivní prohlídky a v nutných případech opravy (přetěsnění ucpávek, doplnění maziva apod.), avšak nejdříve po 10 000 hod. nepřetržitého provozu zařízení. Po 4 letech (30 000 provozních hodin) se provádí revize. Při používání diagnostických prostředků armatur za provozu se připouští provedení revize bez demontáže armatury. Předpokládaná životnost (do vyřazení) u vyjímatelných dílů a příslušenství je 10 let a u součástí těles 30 let.

Požadavky na úplnost dodávky armatur a značení tvoří další celek požadavků kladených na armatury. Úplnou dodávku tvoří armatura včetně spínače koncových poloh uzavíracího orgánu, náhradní díly, komplet zkušebních kroužků, protipříruby a spojovací šrouby, průvodní technická dokumentace, která je tvořena pasportem armatury, výkresy součástí, které podléhají rychlému opotřebení, pevnostním výpočtem součástí těles, technickým popisem a dodacím listem. Ostatní dokumentace se dodává ve dvou kompletech na skupinu výrobků odesílaných na jeden kontrakt.

Armatury musí být označeny na viditelném místě. Označení musí obsahovat tyto údaje: název výrobce, výrobní číslo, rok výroby, výpočtový přetlak na tělese, výpočtová teplota v tělese, DN, směr průtoku, typ pracovní látky, třídu a skupinu armatury, označení výrobku.

5.4.11.3 Kontrola armatur

5.4.11.3.1 Kontrola materiálu

Díly, které mohou způsobit ztrátu těsnosti armatury vůči okolí, jsou podrobeny následujícím zkouškám a kontrolám: chemická kontrola, kontrola obsahu feritu, kontrola makroskupiny (kromě odlitků), tahová zkouška při normální teplotě a při zvýšené teplotě, zkouška vrubové houževnatosti při normální teplotě (kromě korozivzdorné austenitické oceli), stanovení kritické teploty křehkosti T_{ko}, kontrola odolnosti austenitických ocelí proti mezikrystalové korozi, kontrola obsahu nekovových vměstků v antikorozních ocelích, ultrazvuková kontrola, rentgenová nebo ultrazvuková defektoskopie odlitků, kontrola kapilární nebo magnetopráškovou defektoskopií, tlaková zkouška trub a odlitků. Metody kontrol a předpisy pro přejímku polotovarů se uvádí v technických podmínkách. Jakost a vlastnosti polotovarů musí být doloženy atesty, ve kterých se uvádí značka materiálů, číslo tavby a skupiny, režim tepelného zpracování, výsledky všech zkoušek (kontrol) a údaje o opravách defektů. Požadavky na spojovací materiál pro armatury I. a II. třídy jsou stanoveny v normě GOST 23304-78. Požadavky na spojovací materiál pro armatury III. třídy a pro pomocné systémy jsou dány normou GOST 20700-78.

5.4.11.3.2 Kontrola svarových spojů a návarů těsnících ploch

Kontrola svarových spojů se provádí dle pravidel kontrol PK. Kategorii svarových spojů stanoví konstruktér v souladu s PK. Kontrola návarů se musí provádět před opracováním i po něm. Před mechanickým opracováním musí být provedena vizuální a rozměrová kontrola navařených ploch. Při kapilární kontrole se nepřipouští protáhlé indikační stopy. Rovněž nejsou přípustné okrouhlé indikační stopy větší než trojnásobek rozměru povolených vad nebo takové, u nichž minimální vzdálenost mezi okraji sousedních stop je menší než průměr větší stopy a stopy jejichž počet převyšuje přípustné hodnoty. Při měření tvrdosti návarů se nesmí naměřená střední hodnota

tvrdosti odchylovat od požadavků daných výkresem a ve výrobně-technologické dokumentaci. Měření tvrdosti se provádí dle GOST 9013-59.

Výsledky zkoušek návarů těsnících ploch na těsnost (po smontování) musí odpovídat požadavkům uvedeným na výkresech a v TP na výrobek. Rentgenové snímky a ostatní dokumenty požadované v „Pravidlech kontrol“ musí být archivovány ve výrobním závodě po dobu 5 let od skončení záruční lhůty.

5.4.11.3.3 Kontrola armatur

Každá armatura (včetně vlnovcových) musí být po vyrobení hydraulicky (pneumaticky) vyzkoušena na pevnost a nepropustnost materiálů dílců a svarů. Zkoušky musí být provedeny před nátěrem armatury. Zkoušky musí být prováděny v souladu s požadavky „Pravidel AES“. U litých těles a dílců se zkoušky provádějí při teplotě vyšší než 5 °C. Přitom se kritická teplota křehkosti TKO neuvažuje. Zkoušky těsnosti uzávěru u vlnovcových armatur do DN 50 se provádí vzduchem. U šoupátek, vlnovcových armatur od DN 65 a u zpětných armatur se provádí vodou nebo vzduchem (v závislosti na pracovní látce). Každý pojišťovací ventil přímý, včetně impulsních ventilů IPU, musí být zkoušen na těsnost uzávěru a otevírací a uzavírací tlak (u elektromagnetických musí být zkoušena i funkce a těsnost uzávěru při uzavření el.magnetem). Zkoušky funkce armatur (kromě armatur zpětných) se provádí při přetlaku pracovní látky uvnitř armatury provedením pěti cyklů „otevřeno-zavřeno“. Třikrát se armatury otevřou částečně (pootevře) a dvakrát úplně (u šoupátek nad DN 400 jedenkrát). Uzavírání se provádí výpočtovým krouticím momentem. Pokud má armatura s pohonem přídavné ruční ovládání, musí se navíc provést dva cykly (nad DN 400 jeden) otevřeno-zavřeno ručním ovládáním. Zkoušky funkce u armatur s pneupohonem se provádí při přetlaku pracovní látky v armatuře přivedením ovládacího vzduchu. Současně se zkouškami funkce je nutno provádět zkoušky dálkové signalizace. Zkoušky vakuové těsnosti spojů a materiálů vůči okolí u bezucpávkové armatury pro radioaktivní pracovní látky se provádí heliem. Zkoušky těsnosti horního uzávěru šoupátek se provádí po dvojím otevření uzávěru pohonem, nebo předepsaným krouticím momentem. Únik pracovní látky horním uzávěrem se nepovoluje. Funkční způsobilost použitých vlnovců se prokazuje výběrovými zkouškami vlnovců na potvrzení zaručené životnosti při parametrech uvedených v GOST 21744-83 v souladu s typem a rozměrem vlnovce. Vlnovce musí být vakuově těsné dle III. třídy těsnosti „Pravidel pro kontrolu.“

5.4.11.4 Provoz armatur

Montáž, obsluhování, provozování a opravy armatur musí odpovídat „Pravidlům AES“, „Základním ustanovením zajištění bezpečnosti jaderných objektů (OPB-88) PN AE G-1-011-89“, technickému popisu, návodu k obsluze, bezpečnostní instrukci a jiným předpisům existujících na JE.

Provozní předpis a návod k obsluze armatur musí obsahovat pokyny na udržování armatury v pohotovosti k provozování, přípravě k provozu, uvedení do provozu, možných poruchách a poškozeních a způsobu jejich odstranění. Obsluhující personál musí prostudovat technický popis a instrukci na obsluhování a jeho znalosti musí být prověřeny.

Je zakázáno provozovat armaturu, pro kterou není k dispozici pasport a provozní předpis (návod na obsluhu). Používat uzavírací armaturu jako regulační orgán se nepřipouští. Používat regulační orgán jako uzavírací je možno jen v případě, že je to uvedeno v TP na konkrétní výrobek.

5.4.11.5 Hodnocení provozu armatur

Systémy JE Dukovany jsou osazeny armaturami s ručním ovládáním i s elektrickými servopohony výroby bývalé ČSSR v souladu s prováděcími projekty systémů a v souladu s technickými dodacími podmínkami (TP) ve znění a platností v době jejich dodávání. Po změnách souvisejícími s ukončením nebo převedením výroby k jiným výrobcům a s inovací výrobků jsou armatury a ND pro JE EDU dodávány dle nových nebo inovovaných TP. Dovozové a speciální armatury byly dodávány v souladu s podmínkami Všeobecné technické požadavky“ označeném VTP-87 (OTT-87) - Armatury pro zařízení a potrubí

jaderných elektráren (se změnami z 9. 11. 1991) a TP SIGMA Lutín: TP 4N-0782 „TP pro armatury z dovozu určené pro JE" z 21. 9. 1987.

Během provozu JE Dukovany jsou nahrazovány armatury v souladu s harmonogramem výměny, případně jsou armatury inovovány v souladu s požadavky provozu.

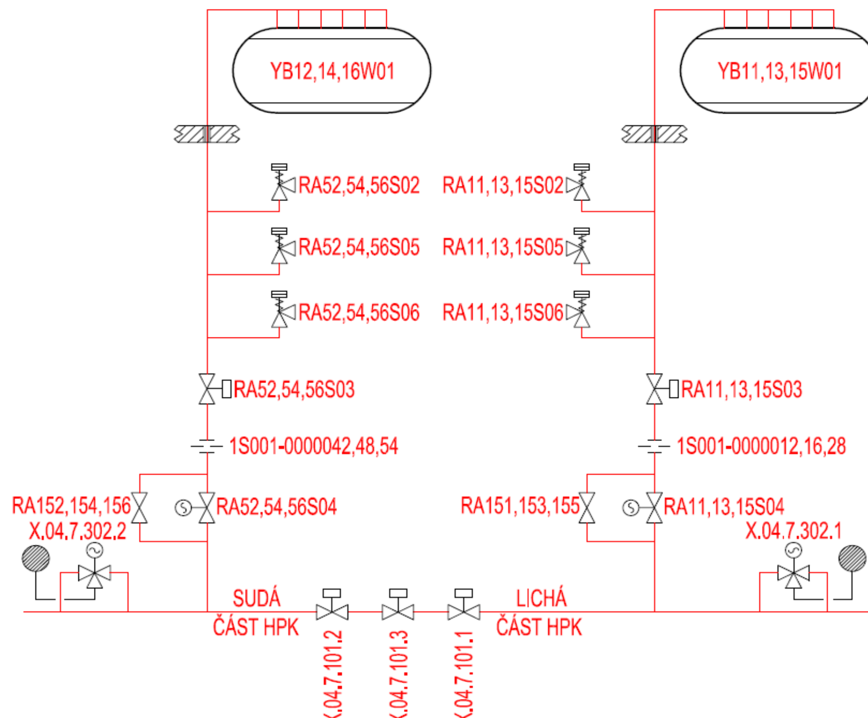
5.4.12 Bezpečnostní a pojišťovací ventily systému ochrany PG a parovodů proti převýšení tlaku

5.4.12.1 Účel systému ochrany PG a parovodů proti převýšení tlaku

Systém ochrany PG a parovodů proti převýšení tlaku slouží k udržení tlaku páry v parogenerátorech a parovodech v povolených mezích. Systém je významný z hlediska jaderné bezpečnosti, protože je to jediný systém, který zajišťuje držení tlaku ostré páry v dovolených mezích v případě výpadku elektrického napájení sítě vlastní spotřeby, nebo v případě, kdyby nezafungovaly normální regulace (regulátorem reaktoru, regulátor turbíny).

5.4.12.2 Koncepce projektového řešení systému ochrany PG a parovodů proti převýšení tlaku

Tento systém je složen ze dvou přepouštěcích stanic do atmosféry (PSA) umístěných na hlavním parním kolektoru a z tří impulsních pojistných ventilů (IPV PG) na parovodech od jednotlivých PG. PSA jsou určeny především na odvod tepla při přechodových a abnormálních stavech. PSA se otevírají při tlaku 5,2 MPa (volba „aut."), resp. 5,4 MPa (volba „ruč."). IPV PG jsou dimenzovány tak, aby zabránili nárůstu tlaku v II.O ve všech projektových stavech nad 110 % projektové (výpočetní) hodnoty. Při návrhu IPV PG se neuvažuje činnost PSA, i když ke snížení tlaku přispívají, protože k jejich otevření dochází dříve. První kontrolní IPV PG se otevírá při tlaku 5,68 MPa, druhá pracovní dvojice IPV PG se otevírá při tlaku 5,78 MPa.



Obr. 83. Schéma potrubí PV PG a PSA

5.4.12.3 Provoz systému ochrany PG a parovodů proti převýšení tlaku

Během normálního provozu jsou všechny pojišťovací ventily (PV PG) uzavřené a připravené na plnění bezpečnostní funkce. Ventily PSA jsou většinou také uzavřené, ale

mohou být i otevřené v režimu regulace tlaku v hlavním parním kolektoru při najíždění, resp. odstavování bloku.

Během abnormálních a havarijních podmínek spojených s nárůstem tlaku v II.O jsou PSA i IPV PG při překročení nastavených úrovní tlaku otevírány automaticky. PSA resp. první kontrolní IPV PG jsou také určené pro dochlazování metodou Feed and Bleed na II.O.

Jednotlivá zařízení systému (IPV PG a PSA) lze ovládat z blokové i nouzové dozorny a ručně se zachováním příslušných blokád a ochran ze systému SKŘ nebo automaticky. Měření tlaku páry je umístěno v blokové i nouzové dozorně. Z hlediska bezpečnosti jsou důležité blokády a ochrany předepsané v LaP.

5.4.12.4 Bezpečnostní požadavky na systém ochrany PG a parovodů proti převýšení tlaku

Systému ochrany PG a parovodů proti převýšení tlaku je aktivní systém. IPV PG včetně PSA jsou zařazeny mezi bezpečnostní systémy dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 do bezpečnostní třídy BT2 a BT3. Tlakové částí IPV PG a PSA jsou včetně přívodních potrubí od parovodů a HPK zařazené do seznamu VZSN (vybrané zařízení speciálně navrhované) podle vyhlášky SÚJB č. 309/2005. Systému ochrany PG a parovodů proti převýšení tlaku je navržen jako seismicky odolný v kategorii 1a.

Z hlediska kvalifikace na podmínky prostředí je systém kvalifikován i na drsné podmínky vznikající při roztržení vysokoenergetického potrubí v jeho okolí a zároveň jsou elektromagneticky kompatibilní, tzn. odolné proti vlivům elektromagnetických jevů.

Systému ochrany PG a parovodů proti převýšení tlaku je navržen tak, aby pro jakoukoliv událost uvažovanou v projektu byla splněna kritéria přijatelnosti i v případě vzniku libovolné dodatečné nezávislé jednoduché poruchy. Kritérium jednoduché poruchy je pro funkci systému otevření splněno. IPV PG jsou umístěny na neoddělitelné části parní strany PG v konfiguraci tři IPV PG na každém parovodu. Všechny tři naplno otevřené IPV PG dokážou odvést plný tepelný výkon PG. Při poruše otevření jednoho nebo i jedné dvojice IPV PG stačí odvést tepelný výkon dokonce pouze jeden IPV PG za předpokladu odstavení příslušného HCČ. V případě, že se IPV PG zasekne v otevřeném stavu, nelze ho nijak oddělit. Není tedy splněno kritérium jednoduché poruchy pro funkci uzavření IPV PG. Chybné otevření a neuzavření IPV PG ale patří mezi projektové události a projekt s tímto stavem počítá.

Nezávislost funkční i fyzická byla při návrhu požadována. Jednotlivé PV PG včetně PSA jsou funkčně zcela nezávislé a elektromotory jednotlivých PSA napájené z různých divizí systému ZN I. V případě výpadku NT vzduchu mohou PV PG pracovat jako pružinové nezávisle na systémech 1. a 2. úrovně ochrany do hloubky. PSA systémy 1. a 2. úrovně ochrany do hloubky nevyužívají. Nezávislost jednotlivých funkcí SKŘ je zajištěna provedením klasifikace podle EN 61226, kdy je zrealizováno oddělení různě klasifikovaných kategorií.

5.4.12.5 Hodnocení provozu systému ochrany PG a parovodů proti převýšení tlaku

Dosavadní provoz systému je po zvládnutí problematiky řízení a kontroly obsluhujícím personálem spolehlivý, bezpečný a bez závažných závad ovlivňujících bezpečnost a provozuschopnost bloku. Poruchy vyskytující se v minulosti byly analyzovány a byla provedena taková opatření, aby se jejich výskytu zamezilo úplně, nebo aby se vyskytovaly minimálně.

Zvýšení tepelného výkonu reaktoru na 1444MW nemá vliv na tento systém. Z analýz vyplývá, že současné nastavení otvíracích a uzavíracích tlaků PV PG a PSA plní požadovanou bezpečnostní funkci a tedy i celý systém bezpečnostních a pojišťovacích ventilů na parovodech a HPK vyhovuje bezpečnostním požadavkům.

5.4.12.6 Vyhodnocení připravenosti systému ochrany PG a parovodů proti převýšení tlaku na další provoz

Za současně přijatých a postupně realizovaných opatření, zachování stávajícího rozsahu řízení dopadů stárnutí je systém IPV PG a PSA schopen bezpečného a spolehlivého provozu minimálně po dobu dalších 10 let.

5.4.13 Systém kontroly hermetičnosti pokrytí paliva

5.4.13.1 Popis systému

Jedním z úkonů během plánovaných odstávek provozu a výměny paliva je kontrola těsnosti pokrytí paliva vyjímaného z reaktoru. Účelem systému je posoudit těsnost pokrytí jaderného paliva. Sleduje se především případný únik radioaktivních plynných produktů štěpení jaderného paliva. Na základě této kontroly je možné rozhodnout o způsobu další manipulace s PS, v případě zjištění netěsnosti je daný PS umístěn do hermetického pouzdra v BSVP, aby se zamezilo dalšímu úniku radioaktivních látek do chladiva.

Pro kontrolu těsnosti pokrytí paliva je elektrárna vybavena více systémy:

- Sipping in-core;
- Sipping KGO

Účelem nasazení systému Sipping in-core je identifikace kazety při podezření na porušení pokrytí paliva. Identifikované kazety s podezřením na porušení paliva jsou následně ověřovány systémem KGO.

5.4.13.2 Koncepce projektového řešení systému kontroly hermetičnosti pokrytí paliva

5.4.13.2.1 Sipping in-core

Zařízení slouží pro rychlou kontrolu těsnosti pokrytí paliva přímo v AZ reaktoru. Pomocí tohoto zařízení lze odebrat kapalné a plynné vzorky z několika ozářených PS podle konfigurace tzv. zvonu. Odběr se provádí na odstaveném reaktoru před výměnou paliva, a to po celé AZ.

5.4.13.2.2 Sipping KGO

Zařízení je určeno pro provádění kontrol těsnosti PS vyvážených z reaktoru. Je tvořeno 4 zkušebními cirkulačními smyčkami, kde každá obsahuje uzavíratelné pouzdro v BSVP, spojovací potrubí, blok armatur, čerpadlo, kompenzátor objemu a řídící pult v ovládací místnosti.

Kontrolovaný PS se vloží do pouzdra, které se uzavře zátkou. Uvolňování produktů štěpení je iniciováno změnou tlaku cirkulující vody. Vyhodnocování vzorků odebraných následně ze smyčky je prováděno v chemické laboratoři.

5.4.13.3 Provozní režimy

Systém je v provozu pouze při odstaveném bloku. Během provozu reaktoru je odstaven.

5.4.13.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Tento systém nepatří mezi bezpečnostní systémy ani systémy související s bezpečností. Systém umožňuje identifikovat a vyřadit z provozu a volného skladování netěsné PS.

Systém neobsahuje vybraná zařízení ve smyslu vyhlášky SÚJB 132/2008 Sb.

Systém není projektován jako seismicky odolný.

5.4.13.4.1 Ochrana personálu

Bezpečí obsluhujícího personálu před radioaktivním zářením je zajištěno tím, že palivové soubory jsou přemisťovány pod ochrannou vrstvou vody. Udržení stanovené vrstvy vody nad ozářeným palivem je zajištěno systémem doplňování skladovacího bazénu.

5.4.13.4.2 Působení vnějších sil

Ochrana paliva před mechanickým poškozením při manipulacích v prostoru šachty reaktoru a skladovacího bazénu je zajištěna koncovými vypínači pohybu jednotlivých mechanismů zavážecího stroje.

5.4.13.5 Hodnocení systému a jeho připravenosti pro další provoz

Systém je dle provozních zkušeností bezpečný.

Metoda použitá pro systém KGO je časově velmi náročná, a je možné zkontrolovat v průběhu odstávky jen omezené množství PS.

Životnost zařízení je projektovaná na celou dobu provozu EDU. Zbytková životnost se posuzuje podle výsledků pravidelných kontrol, obhlídek a zkoušek. K dispozici je dostatečná zásoba náhradních dílů pro udržení bezpečného provozu po celou dobu životnosti EDU.

5.5 Pomocné systémy primárního okruhu

5.5.1 Systém drenáží a odvzdušnění

5.5.1.1 Účel systému

Systém drenáží a odvzdušnění je určen ke shromažďování a zpracování vod z drenáží a odvzdušnění I.O a slouží k:

- odvodu ucpávkové vody HCČ,
- drenáži hlavního cirkulačního potrubí,
- vyprazdňování I.O,
- odvzdušnění zařízení a potrubí primárního okruhu,
- odvodu vod drenáže a přepadu odplyňovačů doplňování.

Po zpracování těchto vod zajišťuje jejich dopravu zpět do systému doplňování I.O resp. nádrží nečistého kondenzátu. Systém drenáží a odvzdušnění je samostatný pro každý výrobní blok. Systémy jsou na sobě nezávislé a nedají se vzájemně zaměnit.

5.5.1.2 Koncepce projektového řešení

Systém zahrnuje zařízení drenáží a odvzdušnění se prolíná se systémem organizovaných úniků a navazuje na systém očistky vody I.O, systém doplňování a systém spalování vodíku.

Celý systém drenáže a odvzdušnění tvoří kolektor drenáže, kolektor odvzdušnění, trasa vyprazdňování I.O. s čerpadlem vyprazdňování.

Systém drenáží a odvzdušnění je umístěný v hermetických prostorech HVB.

5.5.1.3 Provoz systému

Primární okruh se v případě potřeby zavzdušňuje otevřením armatur na kolektoru odvzdušnění. Jestliže se primární okruh nezavzdušňuje, přivádí se NT dusík.

1) Vyprazdňování I.O do systému úpravy nečistého kondenzátu pomocí dusíku

Pro vyprazdňování (vytěsňování) chladiva I.O do systému nečistého kondenzátu pomocí dusíku je následující postup:

a. přivedení nízkotlakého dusíku do kolektoru odvzdušnění,
b. otevření armatur na odvzdušnění na hlavních cirkulačních čerpadlech a parogenerátorech,
c. otevření armatur na drenážích smyčkách hlavního cirkulačního potrubí horkých a studených větví napojením na kolektor drenáží,
d. otevření armatur trasy odpouštění recirkulace čerpadel vytěsňování chladící média I.O do systémů úpravy nečistěho kondenzátu pomocí dusíku je provedeno buď do nádrží nečistého kondezátu nebo přes čistící stanici. Nastavení tras je shodné jako při vyprazdňování pomocí čerpadla odpouštění.

2) Odvzdušnění primárního okruhu, reaktoru a KO

Provádí se při zaplňování primárního okruhu chladivem. Případný odtok vody při odvzdušňování je zaveden potrubím do trasy odpouštění I.O. Toutéž trasou je při spuštění reaktoru provedeno odvzdušnění systému RRCS (systém ochrany a regulace reaktoru).

Vlastní odvzdušnění primární části parogenerátorů je provedeno sběrným kolektorem. Stejně je provedeno i odvzdušnění autonomních okruhů chlazení HCČ jen s tím rozdílem, že případný odtok vody je zaveden do kolektoru odvzdušnění primární části parogenerátorů.

Ostatní odvzdušnění potrubních tras vyplývá z operativních schémat a nemá na technologii systému žádný vliv.

5.5.1.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Zařízení a potrubí systému drenáží a odvzdušnění je v souladu s vyhláškou SÚJB 132/2008 Sb. zařazeno do bezpečnostní třídy 3.

Systém neplní bezpečnostní fuknkci.

5.5.1.5 Vyhodnocení dosavadního provozu a připravenosti systému na další provoz

Dosavadní provoz systému drenáží a odvzdušnění byl bezpečný a spolehlivý. Systém plní svou projektovou funkci. Životnost systému je plánovaná na celou dobu životnosti elektrárny. Jsou splněny předpoklady pro bezproblémový provoz minimálně po dobu následujících 10 let.

5.5.2 Systém organizovaných úniků

5.5.2.1 Účel systému

Systém organizovaných úniků je určen ke shromažďování a zpracování organizovaných úniků I.O a slouží k:

- odvodu a vracení organizovaných úniků od HUA, z prostoru mezi oddělovacími armaturami systému kontinuálního čištění chladiva a mezi rychločinnými armaturami havarijních systémů nizkotlakého a vysokotlakého doplňování chladiva a vod z drenáže barbotážní nádrže,
- odvodu organizovaných úniků od čerpadel doplňování a borové regulace,
- odvodu ucpávkové vody,
- drenáži hlavního cirkulačního potrubí,
- vyprazdňování I.O,
- odvzdušnění zařízení a potrubí primárního okruhu,
- odvodu vod drenáže a přepadu odplyňovačů doplňování.

Systém po zpracování organizovaných úniků zajišťuje jejich dopravu zpět do systému doplňování I.O a nádrží nečistého kondenzátu.

Systém organizovaných úniků je samostatný pro každý výrobní reaktorový blok. Systémy jsou na sobě nezávislé a nedají se vzájemně zaměnit.

5.5.2.2 Koncepce projektového řešení

Systém se prolíná se systémem drenáží a odvzdušnění a navazuje na systém kontinuálního čištění chladiva I.O, systém doplňování, systém spalování vodíku, systém havarijního chlazení AZ, systém proplachu čidel, systém NT dusíku a systém VT vzduchu.

Hlaními komponentami systému jsou:

- chladič organizovaných úniků,
- nádrž organizovaných úniků,
- hydrouzávěr,
- čerpadla nádrže organizovaných úniků,
- čerpadlo vyprazdňování I.O,
- technologické potrubí a armatury.

Systém organizovaných úniků je dispozičně umístěn v HVB. Ta potrubí a zařízení systému organizovaných úniků, která jsou zdrojem ionizujícího záření, jsou umístěna v hermetických prostorech, během provozu nepřístupných. Ovládací prvky jsou vyvedeny do prostorů obsluze přístupných.

5.5.2.3 Provoz systému

Úniky z ucpávek jednotlivých HUA a odpouštěná voda z barbotážní nádrže jsou sváděny do beztlakového kolektoru, který vede do chladiče organizovaných úniků. Chlazení sbíraných kapalin se děje v chladiči organizovaných úniků vodou vloženého okruhu. Dochlazené organizované úniky odsud dále postupují do nádrže organizovaných úniků.

Organizované úniky jsou přečerpávány čerpadly nádrží organizovaných úniků v závislosti na režimu provozu jaderného bloku:

- do sání čerpadel systému TK při vodovýměně,
- do odplyňovače doplňovaní,
- do čistící stanice drenážní vod.

Normálně je v provozu jedno čerpadlo jako "pracovní" a další dvě jsou v rezervě. Pracovní čerpadlo je v provozu trvale, najíždí při hladině v nádrži 1400 mm a odstavuje při výšce hladiny pod 500 mm. Hladina v nádrži je automaticky udržována regulátorem.

Do nádrže organizovaných úniků je přivedena trasa recirkulace plynu ze systému spalování vodíku za účelem provětrávání nádrže a ředění uvolněných plynů. Plynná směs je odváděna přes chladič organizovaných úniků zpět do systému spalování vodíku. Regulovaný odvod plynné směsi zajišťuje stálý tlak v nádrži organizovaných úniků 0,1 MPa.

Tlakový kolektor slouží k odvodu tlakových úniků těsnící vody HCČ přes otevřené rychlouzavírací armatury do kolektoru sání čerpadel doplňování. Před kolektorem na sání čerpadel je umístěná zpětná klapka.

Drenážní trasa labyrintových ucpávek doplňovací čerpadel systému doplňování chladiva I.O je zavedena sběrnou trasou přes hydrouzávěr do nádrže organizovaných úniků. Z hydrouzávěru je plynná směs přes oddělovací armatury a zpětný ventil zavedena do trasy spalování vodíku. Toto řešení zabraňuje průniku ra plynů z hydrouzávěru do místnosti A(B)0013/1(2). V případě vzniku přetlaku v systému spalování vodíku dojde k uzavření zpětného ventilu a tím opět k zabránění zpětného průniku ra plynů z okruhu spalování do A(B)0013/1(2).

Sběrná trasa je v čistých obslužných prostorách, kterými jejich část prochází, zakryta olověným stíněním.

Provoz čerpadel nádrží organizovaných úniků v nominálním režimu:

A) Provoz čerpadel do trasy odpouštění primárního chladiva přes odplyňovač doplňování

V tomto režimu provozované čerpadlo zajistí odvod organizovaných úniků do trasy odpouštění I.O při průtočném množství odpouštěného chladiva menším než 35 t/h bez nežádoucího otevření pojistných ventilů na expandéru v trase odpuštění.

Tento způsob nelze používat v režimu "velké i malé borové regulace" kvůli působení pojistných ventilů na expandéry a s ohledem na nedostatečný výtlak čerpadel organizovaných úniků v tomto režimu.

B) Provoz čerpadla organizovaných úniků s výtlakem zavedeným na sání doplňovacích čerpadel přes dochlazovač doplňovací vody

V režimu "borové regulace se zavedením boru do I.O" a v režimu "dávkování chemických reagentů do sání DČ" se průtok organizovaných z DČ do nádrže mění v rozsahu 25-30 m^3 v závislosti na hodnotě tlaku na sacím kolektoru DČ. Odvod takového množství koncentrovaného roztoku boru není účelné v důsledku velkých ztrát H_3BO_3 (nebo přiváděného reagentu) a vlivu tohoto množství na změnu koncentrace v odplyňovači doplňování. Proto je třeba vracet organizované úniky čerpadly do sání DČ před dochlazovač systému doplňování chladiva. Při průtočném množství větším než 23 m^3 organizovaných úniků a také při nedostatečném tlaku na výtlaku pracujícího čerpadla organizovaných úniků se připojuje ručně druhé čerpadlo pro paralelní provoz.

5.5.2.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Potrubní trasy systému jsou zařazeny do 2. a 3. bezpečnostní třídy, ostatní komponenty a zařízení jsou zařazeny do BT2 a BT3.

Nejedná se o bezpečnostní systém nebo systém související s bezpečností.

5.5.2.5 Vyhodnocení dosavadního provozu systému a připravenosti systému na další provoz

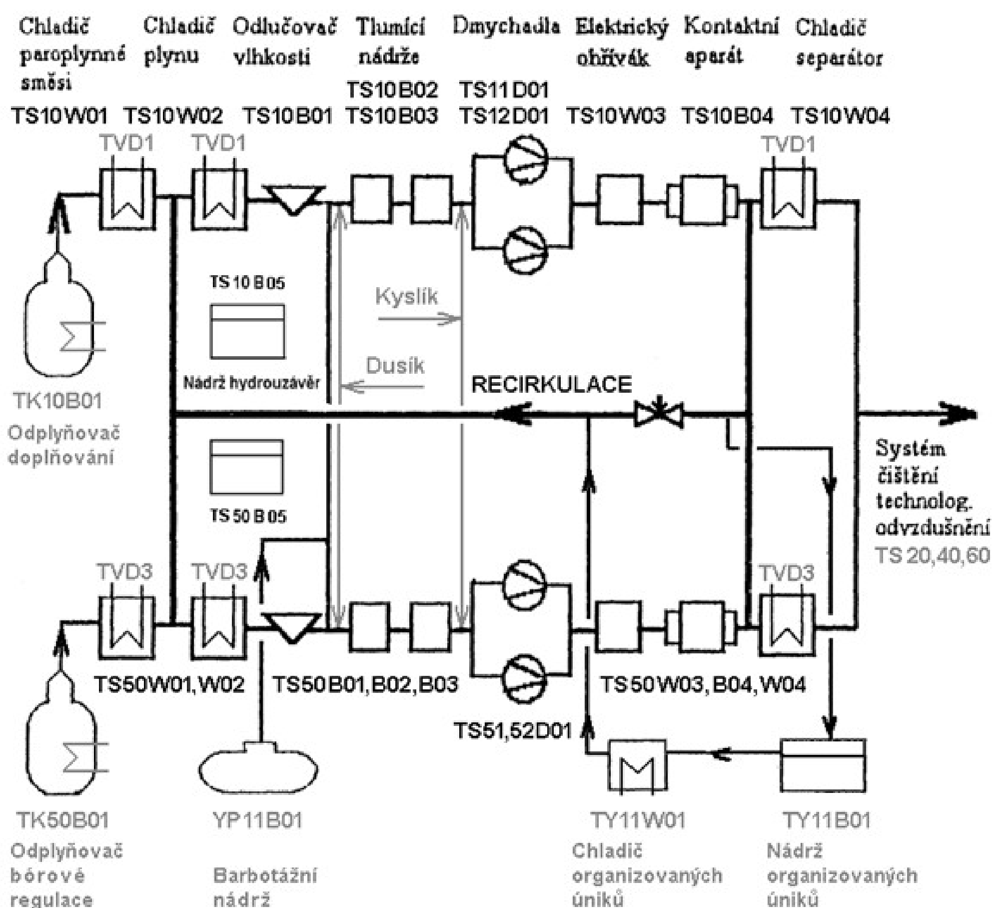
Dosavadní provoz systému organizovaných úniků a drenáží I.O byl bezpečný a spolehlivý. Životnost systému je plánovaná na celou dobu životnosti elektrárny. Systém plní svou projektovou funkci. Jsou splněny předpoklady pro bezproblémový provoz minimálně po dobu následujících 10 let.

5.5.3 Systém spalování vodíku

5.5.3.1 Účel systému

Radiolýzou vody vzniká v primárním okruhu vodík, který je nutný ze systému odvádět a zabraňovat tak vzniku třaskavé směsi.

Systém spalování vodíku, složený ze dvou tras, je určen k okysličování vodíku, který se uvolňuje při odplyňování chladiva I.O v odplyňovačích systému doplňování a borové regulace, a při provětrávání barbotážní nádrže dusíkem. Zařízení zároveň zajišťuje provětrávání nádrže nečistého kondenzátu a chladiče organizovaných úniků ředěním uvolňovaných plynů spolu s jejich odvodem do systému spalování vodíku a odvodu plynné směsi z hydrozávěru na odvodu ucpávkové vody čerpadel doplňování.



Obr. 84. Schéma systému spalování vodíku (TS)

5.5.3.2 Koncepce projektového řešení

Zařízení na spalování vodíku TS10,50 je umístěno v HVB v kontrolovaném pásmu.

Každá trasa systémů TS 10,50 obsahuje propojovací potrubí, armatury a následující zařízení:

- chladič paroplynné směsi,
- chladič plynu,
- odlučovač vlhkosti,
- tlumicí nádrž,
- dmychadlo,
- elektrický ohřívák,
- chladič plynu,
- kontaktní aparát,
- nádrž - hydrouzávěr.

5.5.3.3 Provoz systému

V systému cirkuluje cca 200 Nm^3/h pracovní látky. Přiváděné množství plynné směsi, odparu, kyslíku a dusíku jsou v ustáleném režimu v bilanční rovnováze s množstvím látky odváděné k čisticí stanici technologického odvzdušnění.

V nominálním režimu je v provozu chladič paroplynné směsi, chladič plynu, odlučovač vlhkosti, tlumicí nádrže, dmychadlo, elektrický ohřívák, kontaktní aparát a chladič plynu. Trasy odvodu kondenzátu do nádrže - hydrouzávěru jsou otevřeny. Vyladěním hydraulického odporu na vratné větvi cirkulačního okruhu se nastaví režim trvalého provětrávání nádrže nečistého kondenzátu a chladiče organizovaných úniků.

Odpar z odplyňovače systému doplňování chladiva v množství cca 130 kg/h postupuje do chladiče paroplynné směsi, ve kterém kondenzuje pára.

Nezkondenzovatelné plyny - dusík, vodík a radioaktivní vzácné plyny se odvádějí do chladiče plynů, kde se smíchají s cirkulujícím dusíkem. Směšováním (ředěním přiváděných plynů) se dosáhne toho, že koncentrace vodíku v cirkulačním okruhu nepřesáhne 2 %.

Z chladiče plynů směs postupuje přes odlučovač vlhkosti do dvou tlumicích nádrží.

Před tlumící nádrž je umístěn přímo do potrubí technologie senzor analyzátoru vodíku vstupující směsy.

Do okruhu se dávkuje potřebné množství kyslíku.

Dmychadlem se plyny dopravují do elektrického ohříváku - zde se ohřívají na 120 - 140 °C a dále jsou vedeny do kontaktního aparátu, kde na katalyzátoru dochází k okysličování vodíku za vzniku vody.

V chladiči plynů se snižuje teplota směsi za účelem obnovy normálních provozních podmínek pro dmychadla. Za chladičem plynu je v potrubí umístěn senzor analyzátoru vodíku výstupní směsy.

Všechny výměníky tepla v systému jsou chlazeny technickou vodou. Ucpávky dmychadel jsou zahlcovány dusíkem, jehož nevyužitá část se odvádí do ventilačního komína.

5.5.3.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Systém spalování vodíku plní bezpečnostní funkci, tj. zamezení vzniku třaskavé směsi vodík - vzduch

Význam systému z hlediska obecné bezpečnosti bloku je dvojí:

- spalováním vodíku se předchází vytváření třaskavé směsi vodík - vzduch (primární funkce systému),
- přenos plynných radioaktivních látek od zdrojů k čisticí stanici technologického odvzdušnění (sekundární funkce systému).

Z jednotlivých částí systému jsou do vybraných zařízení elektrárny zařazeny aparáty a spojovací potrubí systému TS10,50 - bezpečnostní třída BT 3.

5.5.3.5 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Životnost systému je plánovaná na celou dobu životnosti elektrárny. Systém je provozován v souladu s určeným provozním předpisem. Systém plní svou projektovou funkci a jsou splněny předpoklady pro bezproblémový provoz minimálně po dobu následujících 10 let.

5.5.4 Systém čištění technologického odvzdušnění

5.5.4.1 Systém speciální očisty plynů

5.5.4.1.1 Účel systému speciální očistky plynů

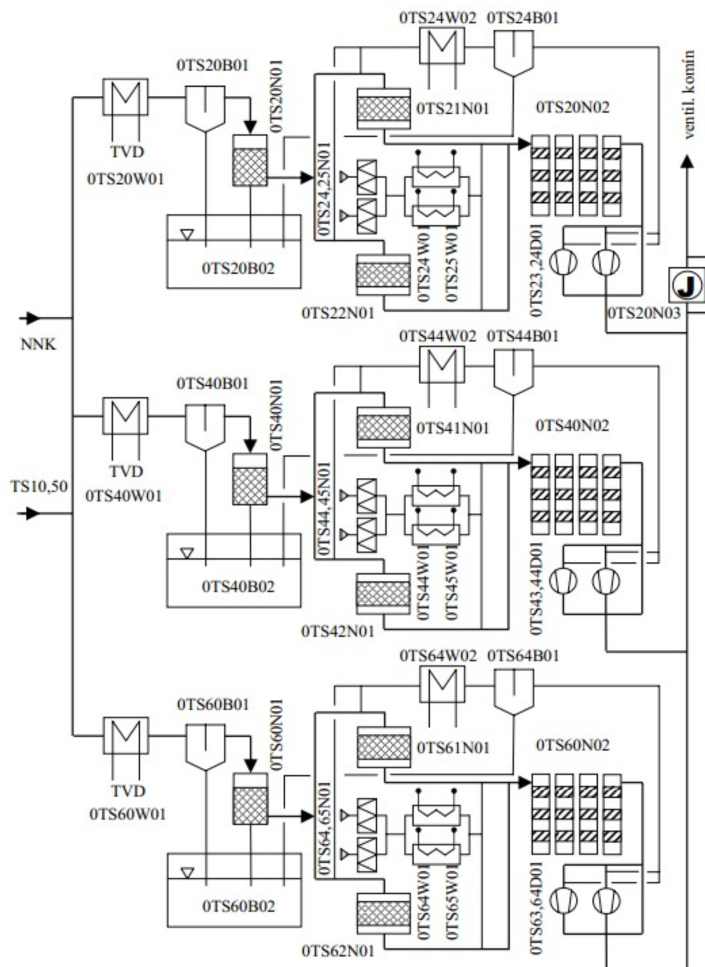
Systém speciální očistky plynů slouží k čištění plynů ze systému spalování vodíku a z odvzdušnění nádrží nečistého kondenzátu. Průchodem čistící linkou dochází ke snížení aktivity radioaktivních vzácných plynů a izotopů jódu, které se do chladiva uvolňují skrze plynné netěsnosti v pokrytí palivových článků, pomocí kontinuální adsorpce na filtračních kolonách. Tímto způsobem jsou vzácné plyny chemicky vázány v sorbentu a jejich průchod filtry je zpožděn na dobu nutnou k postupnému radioaktivnímu rozpadu. Dochází tak ke snížení úniku radioaktivních produktů do životního prostředí a tím i k snížení vlivu ionizujícího záření na obyvatelstvo na prakticky zanedbatelnou míru.

Systém patří mezi pomocné systémy a je společný pro dva bloky v rámci jednoho HVB. Tento systém pracuje nepřetržitě ve všech režimech bloku v případě, že alespoň jeden z bloků je provozován na výkonu nebo probíhají nátoky do nádrží nečistého kondenzátu.

5.5.4.1.2 Koncepce projektového řešení systému speciální očistky plynů

Systém je složen ze tří totožných linek TS20, TS40 a TS60. Na jednu (základní) linku jsou vedeny plyny ze systému spalování vodíku. Na druhou (pomocnou) linku jsou vedeny plyny uvolněné z nádrží nečistého kondenzátu, které jsou společné pro dva bloky. Třetí linka je rezervní pro případ okamžitého uvedení do provozu. Na konci systému se linky spojují a vedou plyny do jednoho společného jódového filtru. Pracovní linka použitá pro čištění plynu ze systému spalování vodíku nemůže být použita pro čištění plynů z nádrží nečistého kondenzátu.

Plyny vstupují do linky přes chladič, kde dochází k jejich zchlazení na teplotu pod 35°C v závislosti na teplotě chladícího média (TVD). Po ochlazení plyny postupují do odlučovače vlhkosti a do samočistícího filtru, jehož náplň je tvořena skelnou tkaninou. Odloučená vlhkost, radioaktivní aerosoly a případně i mechanické nečistoty jsou odváděny do sběrné nádrže. Takto upravený plyn je dále dosoušen na jednom ze dvou zeolitových filtrů. Druhý zeolitový filtr je v rezervě. V průběhu dosoušení se v zeolitovém filtru uvolňuje teplo, které je odváděno chladícím médiem (TVD). Následně je plyn veden na adsorbéry, které jsou naplněny aktivním uhlím a dochází zde ke zmiňované adsorpci radioaktivních plynů. Plyn zbavený radioaktivních plynů je veden obtokem dmychadel (plyny od systému spalování vodíku) nebo je nasávám jedním z dmychadel (plyny z nádrží nečistého kondenzátu, druhé dmychadlo je v rezervě) na společný jódový filtr. Plyny nemusí procházet skrze jódový filtr v případě, že příslušná měření radiační kontroly nezjistí přítomnost jódu ve vyčištěném plynu. Vyčištěný plyn vystupuje přes sběrnou šachtu ventilačního komína ven do ovzduší. Výpustě jsou monitorovány detekčními přístroji radiační kontroly.



Obr. 85. Zjednodušené schéma systému speciální očistky plynů

5.5.4.1.3 Provoz systému speciální očistky plynů

Během nominálního režimu jsou v provozu dvě linky. Základní linka čistí plyny ze systému spalování vodíku. Pomocná linka čistí plyny od nádrží nečistého kondenzátu (NNK) v případě překročení limitu koncentrace vodíku v NNK >1,5%, zvýšení přetlaku v NNK >2kPa, 1x za týden po dobu 8h, pokud není v provozu systém měření koncentrace vodíku, nebo v případě, kdy je z I.O odpouštěno do NNK více než 25m^3 chladiva. Třetí linka je v rezervě. Všechny tři linky jsou v provozu například v případě souběhu velkých bórových regulací na obou blocích.

Linky jsou v provozu po dobu jednoho měsíce. Po uplynutí jednoho měsíce se linky střídají podle přesného pravidla. Linka, která čistila plyny ze systému spalování vodíku, přechází do rezervy. Linka, která čistila plyny od nádrží NNK, přechází na čištění plynů ze systému spalování vodíku. Linka, která byla v rezervě, přechází na čištění plynů od NNK.

Přibližně v polovině měsíce se v provoze střídají zeolitové filtry nehledě na stav měření vlhkosti. Zeolitový filtr přechází buď do rezervy, nebo může být regenerován. Regenerace zeolitového filtru probíhá průtokem horkého vzduchu, který je nasáván z místnosti jedním z dmychadel čistící linky přes prachový filtr a elektrický ohřívač. Vlhkost uvolněná ze zeolitového filtru je zachycována v odlučovači vlhkosti a je jímána do sběrné nádrže. Během regenerace je možné uvolnění aktivity jódu do proudu vzduchu, proto je tento vzduch veden přes společný jódový filtr a až poté vypouštěn přímo do komína.

Sledování funkce systému speciální očistky plynů je uskutečněna systémem radiační kontroly (RK). Měření jsou umístěna na třech místech linky: měření sumární aktivity beta

na vstupu do jednotlivých čistících linek, měření aktivity jódu a plynů na výstupu z jednotlivých linek a měření aktivity jódu za společným jódovým filtrem. Testování zpožďovacích linek proběhlo před spuštěním 1. bloku a pak následně po roce a pěti letech provozu JE Dukovany. Tímto testováním se prokázalo, že během provozu prakticky nedochází k poklesu doby přechodu T[h] jednotlivých radionuklidů systémem. Čistící účinek systému na jednotlivé radionuklidy je charakterizovaný dekontaminačním faktorem DF.

5.5.4.1.4 Bezpečnostní požadavky na systém speciální očistky plynů

Systém speciální očistky plynů je systém související s bezpečností. Podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. o systému jakosti je systém zařazen do BT3. Do této bezpečnostní třídy jsou zařazený armatury, zařízení a potrubí na hlavní linii systému. Pro tyto zařízení jsou zpracovány individuální programy zajištění jakosti provozu.

5.5.4.1.5 Hodnocení provozu systému speciální očistky plynů

Během provozu elektrárny byly provedeny dvě hlavní změny v systému speciální očistky plynů. První změnou bylo vložení odlučovače oleje před společný jódový filtr na konci systému spojená s výměnou dmychadel včetně doplnění filtrů na sání dmychadel a filtrů dusíku na zahlcování ucpávek dmychadel. Toto technické řešení bylo realizováno, aby se zamezilo průniku olejové suspenze z dmychadel do jódového filtru. Takto upravené médium nebude zanášet jódový filtr a nebude tak ohrožena provozuschopnost jódového filtru. Druhou změnou byla instalace dochlazovačů k původním chladičům na vstupu na linky. Tato úprava byla provedena pro zlepšení kondenzace vlhkosti v radioaktivním plynu. Tím se sníží objem vlhkosti v plynu a zlepší se průběh dalšího vysoušení a návazných manipulací.

5.5.4.1.6 Vyhodnocení připravenosti systému speciální očistky plynů na další provoz

Systém speciální očistky plynů pracuje se zdroji ionizujícího záření a je tedy navržen tak, aby byla zabezpečena ochrana personálu a životního prostředí. Průběh čištění je soustavně monitorován prostředky RK. Zařízení jsou navržena a kontrolována z pohledu bezpečnosti, jakosti výroby, montáže, komplexního vyzkoušení a provozní kontroly. Návrh systému vyhovuje kladeným bezpečnostním kritériím. Životnost systému je plánována na dobu životnosti elektrárny. Pro nejvíce namáhané části systému je naplánován harmonogram výměny v takovém rozsahu, aby byl udržen provoz zařízení po celou dobu životnosti.

Systém plní projektovou funkci, nevykazuje rostoucí poruchovost. Technická řešení realizovaná po dobu provozu vytvářejí předpoklady spolehlivého provozu systému. Lze předpokládat, že systém bude schopen bezproblémového provozu po dobu následujících 10 let.

5.5.4.2 SYSTÉM ČIŠTĚNÍ TECHNOLOGICKÉHO ODVZDUŠNĚNÍ NÁDRŽÍ TS70,73

5.5.4.2.1 Účel systému čištění technologického odvzdušnění nádrží

Systém čištění technologického odvzdušnění nádrží obsahuje dva provozně nezávislé systémy:

- Čištění technologického odvzdušnění nádrží systému TS70
- Čištění vzduchu z evakuace monžíků systému TS73

Systém TS70 slouží k čištění vzduchu od radioaktivních aerosolů, jódu, kysličníku dusíku a případných těkavých organických nečistot z technologického odvzdušnění nádrží úložiště kapalných radioaktivních odpadů, sběrných nádrží odpadních vod, nádrží bórového koncentrátu a z odvzdušnění deflegmátorů sběrné nádrže koncentrátu bóru. Skládá se ze dvou shodných vzájemně zaměnitelných linek.

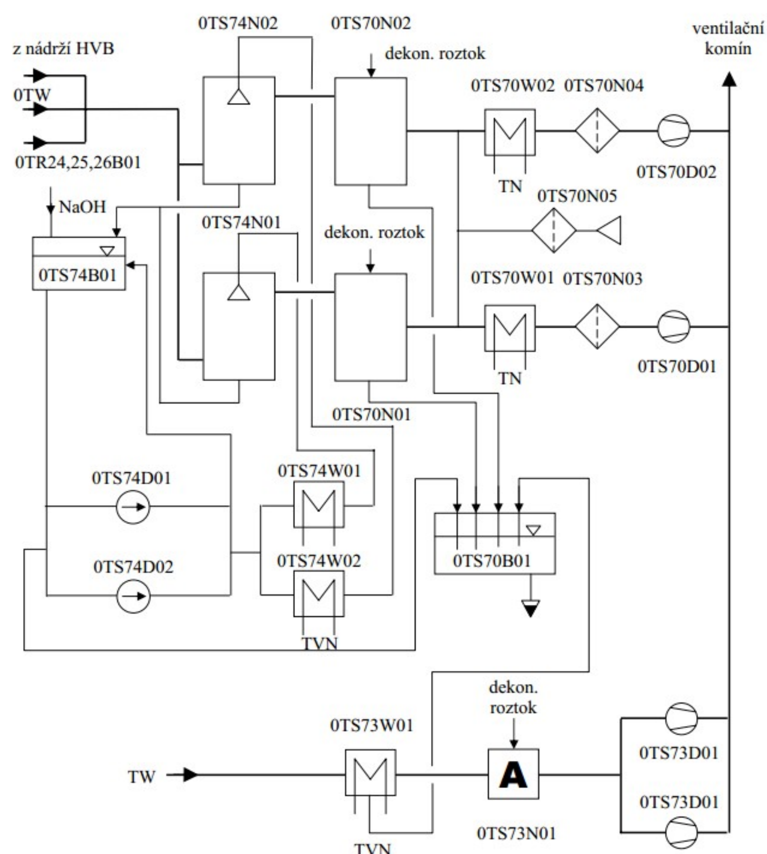
Systém TS73 slouží k čištění vzduchu od kapalných i pevných radioaktivních aerosolů a vlhkosti ze vzduchu, z evakuace monžíků úložiště kapalných radioaktivních odpadů.

5.5.4.2.2 Koncepce projektového řešení systému čištění technologického odvzdušnění nádrží

Vzdušina k čištění na systému TS70 je přiváděna potrubní trasou ze sběrných kolektorů. Nasávaný vzduch je přiveden do skrubru. Ve skrubru je vzdušina sprchována 2% roztokem NaOH, tím dochází k jejímu zchlazení, odstranění jódu, oxidu dusíku a přídavných organických příměsí. Za skrubrem se nachází aerosolový filtr naplněný skelnou vatou, na které se zachytávají zbytky aerosolů. Přes parní ohřívák pak vzdušina o teplotě 50°C pokračuje na absorpční filtr naplněný aktivním uhlím, kde dochází k záchytu radioaktivních plynů. Vystupující plyn je hnán dmychadlem do ventilačního komína.

Vzdušina k čištění na systému TS73 je vedena od monžíků ke chladiči, kde se ochladí na teplotu pod 35°C. Následně je vedena skrz aerosolový filtr a pak vývěvou do ventilačního komína. Na aerosolovém filtru dochází k záchytu případných aerosolů a radioaktivních plynů.

Oba systémy zabezpečují snížení případného úniku škodlivin do životního prostředí na co nejnižší míru.



Obr. 86. Schéma systému čištění technologického odvzdušnění

5.5.4.2.3 Provoz systému čištění technologického odvzdušnění nádrží

Systém TS70 se skládá ze dvou identických linek. Jedna je v provozu a druhá je v rezervě. Systém pracuje nepřetržitě. Podtlak pro provoz systému se vytváří jedním z dmychadel. Pro zajištění stálého objemového výkonu dmychadel je do systému přisáván přes mechanický filtr přídavný vzduch z místnosti. Vzdušina z nádrží prochází skrubrem. Louh cirkuluje pomocí jednoho z čerpadel ze sběrné nádrže louhu přes jeden z chladičů do jednoho ze skrubrů. Ochlazený a částečně vyčištěný vzduch proudí ze skrubru do jednoho z aerosolových filtrů a následně přes parní ohřívač k adsorpčnímu

filtru. Vlhkost odebíraná v aerosolovém filtru je svedena do společného vodního uzávěru. Vyčištěný plyn je vypouštěn do okolí JE Dukovany přes ventilační komín.

Systém TS73 se skládá z jedné linky, která je v provozu podle potřeb provozu. Vzdušina z monžíků s relativní vlhkostí až 100% a s obsahem radioaktivních aerosolů je přiváděna přes chladič s odlučovačem vlhkosti na aerosolový filtr. Kondenzát je odváděn do společného vodního uzávěru se systémem TS70. Vyčištěná vzdušina je jednou z vývěv vypouštěna ventilačním komínem do okolí JE Dukovany.

Kromě popsaného nominálního režimu systémů mohou systémy pracovat v režimu regenerace aerosolových filtrů a výměny NaOH. Činnost filtrů je kontrolována se provádí měřením tlakového spádu na filtru. Regenerace aerosolových filtrů se provádí, jestliže tento tlakový spát překročí 3kPa. V případě systému TS70 je regenerován filtr na lince, která je v rezervě. Aerosolový filtr na lince TS73 se regeneruje v době, kdy je linka mimo provoz. Výměna roztoku NaOH se provádí jednou za rok při odstavení obou linek TS70 z provozu.

Sledování funkce činnosti systému TS70 se uskutečňuje systémem radiační kontroly. Kontrola se provádí měřením dávkového příkonu gama na vstupu do systému, měřením dávkového příkonu od společné sběrné nádrže louhu, odběrem vzorků vzduchu z výstupu čistící stanice a odběrem vzorků vzduchu na filtru pro záchyt aerosolů, pro kontrolu na výstupu z aerosolových filtrů.

5.5.4.2.4 Bezpečnostní požadavky na systém čištění technologického odvzdušnění nádrží

Systém čištění technologického odvzdušnění nádrží je systém nesouvisející s bezpečností. Podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. o systému jakosti jsou však do do kategorie vybraných zařízení BT3 zařazeny zařízení, kde dochází k záchytu radioaktivních látek (např. aerosolové filtry) nebo aktivní prvky (např. dmychadla). Pro tyto zařízení jsou zpracovány individuální programy zajištění jakosti provozu.

5.5.4.2.5 Hodnocení provozu systému čištění technologického odvzdušnění nádrží

Během provozu elektrárny nedošlo k významnějším poruchám systémů. Realizované změny se omezily na náhradu zařízení.

5.5.4.2.6 Vyhodnocení připravenosti systému čištění technologického odvzdušnění nádrží na další provoz

Systém čištění technologického odvzdušnění nádrží plynů pracuje se zdroji ionizujícího záření a je tedy navržen tak, aby byla zabezpečena ochrana personálu a životního prostředí. Průběh čištění je soustavně monitorován prostředky RK. Zařízení jsou navržena a kontrolována z pohledu bezpečnosti, jakosti výroby, montáže, komplexního vyzkoušení a provozní kontroly. Návrh systému vyhovuje kladeným bezpečnostním kritériím. Životnost systému je plánována na dobu životnosti elektrárny. Pro nejvíce namáhané části systému je naplánován harmonogram výměny v takovém rozsahu, aby byl udržen provoz zařízení po celou dobu životnosti.

Systém plní projektovou funkci, nevykazuje rostoucí poruchovost. Technická řešení realizovaná po dobu provozu vytvářejí předpoklady spolehlivého provozu systému. Lze předpokládat, že systém bude schopen bezproblémového provozu po dobu následujících 10 let.

5.5.5 Systém doplňování a borové regulace

5.5.5.1 Účel systému

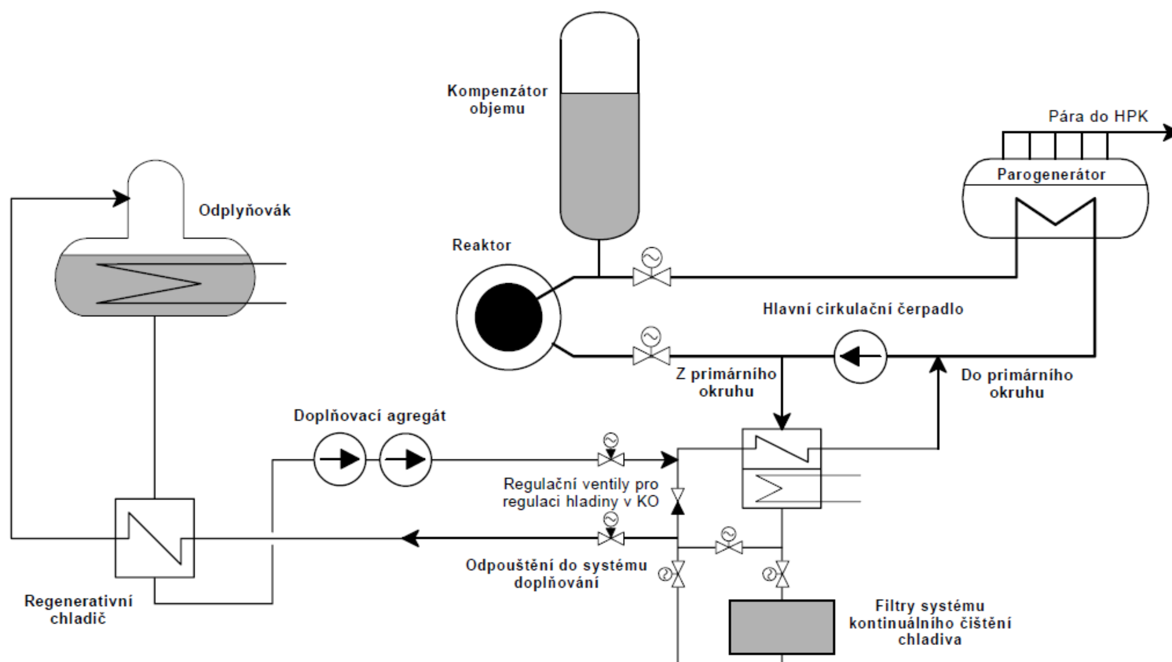
Systém doplňování I.O a bórové regulace slouží:

- ke kompenzaci organizovaných a neorganizovaných úniků z I.O,
- ke kompenzaci úniků (doplňování I.O) v havarijních režimech při narušení celistvosti I.O – netěsnosti,
- ke kompenzaci změn reaktivity reaktoru přívodem borového koncentrátu nebo čistého kondenzátu do I.O,
- k organizovanému čištění chladiva I.O vyváděním kyseliny borité na ionexových filtrech systému SVO-2,
- ke korekci chemického režimu přívodem chemických reagentů do I.O,

- k udržování hladiny v KO při změně výkonu reaktoru a dále k dochlazování KO v případě odstavených HCČ,
- k odvodu roztoků pro dezaktivaci vnitřních povrchu smyček a zařízení I.O,
- k odpouštění chladiva z primárního okruhu,
- k počátečnímu zaplnění, vyprazdňování a tlakovým zkouškám I.O.

5.5.5.2 Koncepce projektového řešení

Systém je tvořen dvěma sub systémy. A to systémem pro doplňování primárního chladiva a systémem na odpouštění chladiva z primárního okruhu. Oba systém přímo navazují na další systémy přívodu borového koncentrátu, systému rozvodu dusíku a systém vytápěná technologickou parou.



Obr. 87. Zjednodušené schéma systému doplňování

5.5.5.2.1 Systém doplňování a bórové regulace

Systém doplňování je tvořen doplňovacími čerpadly, předřadnými čerpadly, odplyňovačem primárního chladiva a bórovou regulací, dochlazovačem doplňovací vody, regeneračními výměníky a chladičem kondenzátu topné páry.

Celkově se jedná o poměrně složitý systém. Provoz systému v různých režimech je popsán v následující kapitole. Zjednodušeně je možné funkci systému popsat následovně: v odplyňovači primárního okruhu dochází k „shromažďování“ média s danou koncentrací kyseliny borité určeného k doplňování do primárního okruhu. Médium v odplyňovači je zahřáto topnou parou, díky tomu dochází k vyloučení plynů rozpuštěných v médiu. Následně je médium ochlazeno (kvůli doplňovacím čerpadlům) nejdříve na předřadná čerpadla a následně na hlavní doplňovací čerpadla. Tato čerpadla musí na výstupu dodávat médium o stejném tlaku jako v primárním okruhu. Takto vysokého tlaku by bylo složité dosáhnout v jednom stupni. Z tohoto důvodu jsou v systému předřadná a hlavní čerpadla. Systém má celkem tři dvojice čerpadel (předřadné a hlavní). Následně je médium čerpáno přes regenerační výměník a dále je médium vedeno trasou ústící do hlavního cirkulačního potrubí na sání hlavních cirkulačních čerpadel.

5.5.5.2.2 Systém odpouštění chladiva I.O

Odpouštění chladiva I.O ve všech režimech zajišťují čerpadla odpouštění chladiva. Při nominálním provozu bloku je v chodu čerpadlo napojené na odplyňovač doplňován, obě čerpadla jsou napojená na odplyňovač doplňování.

Odvod chladiva primárního okruhu se uskutečňuje dvěma trasami napojenými na vratné trasy systému čištění primárního chladiva SVO-1.

Systém je tvořen drenážními trasami s regulačními armaturami, upouštěcími trasami, čerpadly odpouštění chladiva primárního okruhu.

5.5.5.3 Provoz systému

5.5.5.3.1 Systém doplňování a borové regulace plní následující funkce:

a) Přívod vody na ucpávku HCČ

Voda se na ucpávky HCČ přivádí v celkovém množství cca 12 t/h z výtlačného kolektoru doplňovacích čerpadel. Na obou trasách jsou armatury v nominálním režimu otevřené.

b) Doplňování I.O

Kompenzace neorganizovaných úniků se provádí "pracovní" trasou TK10 nebo 50 tj. výtlačnou linií doplňovacích čerpadel.

Organizované úniky jsou čerpadly organizovaných úniků přiváděny zpět do I.O buď trasou odpouštění přes odplyňovač doplňování nebo jsou přímo přiváděny na sání doplňovacích čerpadel. Na sání DČ jsou organizované úniky odváděny v režimu borové regulace se zaváděním bóru, kdy zvýšený organizovaný únik zejména od doplňovacích čerpadel není účelné odvádět přes odplyňovač doplňování do nádrží nečistého kondenzátu vzhledem k velkým ztrátám boru.

c) Nominální režim bez borové regulace

V nominálním režimu se všechny organizované úniky I.O (cca 5 t/h) vrací do odplyňovače doplňování. Z celkového množství 12 t/h těsnící vody, které podává trvale DČ na ucpávku HCČ, se cca 9 t/h vrací trasou přímo na sací kolektor DČ. Množství vody, které odpovídá množství vody pronikající do I.O přes ucpávky HCČ je odpouštěno trasou do odplyňovače doplňování. Neorganizované úniky (v množství do 0,2 t/h) jsou nahrazovány čistým. Voda z odplyňovače se po ochlazení na cca 50 °C v chladiči doplňovací vody přivádí na sání DČ. Na sání DČ jsou rovněž přiváděny úniky těsnící vody z ucpávky HCČ na trase odlehčení hydraulické paty doplňovacího čerpadla.

V nominálním režimu bez borové regulace je v provozu "pracovní" trasa odpouštění chladiva systému TE s nom. výkonem 4 t/h a max. 10 t/h. Odpouštěná voda se odvádí do odplyňovače doplňování odvádějící při zvýšené hladině v odplyňovači doplňování vodu na SVO-2.

d) Nominální režim s borovou regulací

Při normálním provozu jsou - neorganizované úniky z I.O v množství do 0,2 t/h. Ztráty chladiva se kompenzují periodickým přívodem čistého kondenzátu do odplyňovače doplňování s periodickou korekcí koncentrace kyseliny borité.

Změna koncentrace kyseliny borité závisí na hodnotě úniků a na běžné koncentraci kyseliny borité. Koncentrace kyseliny borité se měří bóroměry, na výtlačných kolektorech doplňovacích čerpadel, v I.O na trasách kontinuální čištění chladiva (SVO-1) a v reaktoru. Údaje tohoto měření jsou vynesena na BD. Přesná koncentrace se zjišťuje chemickým rozborem odebraných vzorků v laboratoři.

e) "Malá" borová regulace

Zabezpečuje korekci odchylek koncentrace kyseliny borité od požadované vzhledem k hloubce vyhoření a ztrátám neorganizovaným únikem. V režimu "Malá" borová regulace je borový koncentrát (40 g H_3BO_3/kg H_2O v množství asi 8 t/h) přiváděn do sacího kolektoru DČ pomocí nízkotlakého čerpadla koncentrátu bóru. Borový koncentrát je možno také dodávat přímo do výtlačných tras doplňování (v množství asi 6 t/h). Je-li naopak zapotřebí koncentrace boru v I.O snížit, zavádí se na sání DČ odplyněný čistý kondenzát.

f) Režim "velké" borové regulace se zavedením čistého kondenzátu

Systém doplňování I.O a borové regulace pracuje v tomto režimu při uvedení reaktoru do kritického stavu při spouštění bloku (snižování koncentrace kyseliny borité z 12 g/kg na koncentraci cca 8 g/kg) dle schématu:

- odpouští se chladivo I.O trasou odpouštění chladiva v množství cca 35 m^3/h do odplyňovače doplňování,
- dle hladiny v odplyňovačích se chladivo odvádí na čistící stanici drenážních vod,
- uzavřením armatury se odpojí od sacího kolektoru DČ,
- spouští se rezervní DČ, do vratné trasy je odváděn čistý kondenzát o množství cca 35 m^3/h v závislosti na c_B v I.O).
- Po snížení koncentrace kyseliny borité na 8 g/kg se odstavuje trasa odpouštění a doplňovací čerpadlo. Další snižování koncentrace na asi 7 g/kg probíhá analogicky jako "malá" borová regulace. Celý systém přechází do nominálního režimu.

g) "Velká" borová regulace se zavedením boru

Provádí se po snížení výkonu reaktoru na minimum. Reaktor se přivede do podkritického stavu zvýšením koncentrace kyseliny borité na hodnotu odstavné koncentrace resp. na hodnotu 12 g/kg při odstavování pro výměnu paliva podle následujícího schématu:

- určení pracovního výtlačného kolektoru, pracovního NT čerpadla bórového koncentrátu a pracovní nádrže koncentrátu bóru (40 g/kg),
- spuštění se pracovního čerpadla o výkonu 40 m^3/h. Po dosažení průtoku 30 m^3/h a současně se spuštěním je otevírána trasa recirkulace (odlehčení),
- a současně se spuštěním je otevírána trasa odpouštění,
- podle hladiny v odplyňovači doplňovaní zapnutí čerpadla odvodu chladiva I.O,
- po ukončení "velké" borové regulace provedení odplynění chladiva I.O s cílem odstranění plynů, které se vylučují z chladiva během vychlazování I.O.

h) Dochlazování KO

V případě odstavených hlavních cirkulačních čerpadel lze dochlazování KO uskutečnit vstřikem doplňovací vody přímo z výtlačných tras doplňování chladiva.

i) Počáteční zaplnění I.O

Provádí se pomocí čerpadla odpouštěn, jehož výtlak je propojen s výtlačnou trasou hlavních doplňovacích čerpadel.

j) Regulovaný přívod čistého kondenzátu

Do odplyňovače borové regulace a odplyňovače doplňování je veden do každého z nich samostatnou linií. Na každé potrubní trase zajišťují dva regulační ventily ("malý" a "velký") požadované průtočné množství čistého kondenzátu do odplyňovače pro příslušný provozní režim.

5.5.5.3.2 Systém odpouštění chladiva I.O

Odvod odpouštěného chladiva I.O ve všech režimech zajišťují čerpadla odpouštění.

Při nominálním provozu bloku je v provozu čerpadlo odpouštění napojené na odplyňovač doplňování a odplyňovač borové regulace (TK10B01, TK50B01). Výtlak čerpadel je opatřen recirkulační trasou uvedenou do provozu při spouštění čerpadel a odstavenou po dosažení průtoku 30 m^3/hod. Při snížení průtoku se recirkulační linie opět otevírá. Odpouštěné chladivo I.O je výtlačnými trasami odváděno k čistící stanici a nádržím nečistého kondenzátu.

Nominální parametry ve výtlačné trase při nominálním provozu jsou Q = 50 m^3/hod, tlak p = 0,36 MPa, teplota = 70 °C. Systém má dvě na sobě nezávislé vzájemně zaměnitelné trasy.

a) Odvod chladiva I.O

se uskutečňuje trasami napojenými na vratné trasy čistící stanice chladiva I.O (SVO-1).

Regulovaný odvod chladiva je v součinnosti s regulovaným přívodem doplňované vody do I.O. Odvod chladiva, odpouštěného z I.O na odplynění, je zajišťován trasou do odplyňovače primárního chladiva přes regenerační výměník. V případě výpadku odplyňovače doplňování přebírá jeho funkci odplyňovač borové regulace.

b) Odvod odplyněného chladiva I.O k čistící stanici SVO-2 a do nádrží nečistého kondenzátu

se uskutečňuje z výtlaku čerpadel odvodu, propojených potrubní trasou s armaturou. Zaplnění I.O pomocí čerpadla je provedeno prostřednictvím trasy spojující výtlak čerpadla s výtlačnou linií čerpadel doplňování a borové regulace.

c) Vyprazdňování a odvod roztoků po dezaktivaci vnitřních povrchů zařízení I.O se děje rovněž trasami odpouštění a dále čerpadlem vyprazdňování buď do nádrží nečistého kondenzátu nebo na úložiště radioaktivních odpadů.

5.5.5.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Všechny komponenty, spojovací potrubí a armatury systému doplňování I.O a bórové regulace jsou zařazena podle vyhl. 132/2008 Sb. do "Vybraných zařízení". Potrubní trasy systému jsou zařazeny do 1., 2. a 3. bezpečnostní třídy, ostatní komponenty a zařízení jsou zařazeny do BT 2 a 3.

Jedná se o systém důležitý z hlediska provozu, ale pro zajištění jaderné bezpečnosti není potřebný.

5.5.5.5 Vyhodnocení provozu a připravenosti systému na další provoz

Životnost systému je plánovaná na celou dobu životnosti elektrárny. K dispozici je dostatečný počet náhradních dílů pro udržení životnosti systému po celou dobu provozu elektrárny. Během provozu systému se nevyskytly žádné poruchy, které by měli vliv na jadernou bezpečnost.

Tento systém nelimituje provoz jaderné elektrárny v dalších 10 letech.

5.5.6 Systémy vložených okruhů primárního okruhu

5.5.6.1 Účel systému

Systém vložených okruhů slouží k chlazení důležitých systémů a komponent pracujících s radioaktivním médii. Účelem systému vložených okruhů je zabránit znečistění (kontaminaci) systému technické vody důležité radioaktivními látkami v případě porušení těsnosti chlazených technologických zařízení.

Teplo odváděné z těchto zařízení pomocí vložených okruhů se teprve pak předává ke chlazení technické vodě důležité pomocí výměníků vložených okruhů. Jednotlivé spotřebiče chlazené vloženými okruhy jsou umístěny vně i uvnitř hermetické zóny. Plnění (doplňování) systémů vložených okruhů se provádí z rozvodu čistého kondenzátu.

Vložené okruhy tvoří bariéru mezi primárním okruhem a rozvodem technické vody důležité. Z toho důvodu je potřebné zabezpečit, aby tlak v systému technické vody důležité v chladičích vloženého okruhu byl vyšší, než je tlak vloženého okruhu chlazení v příslušných chladičích.

5.5.6.2 Koncepce projektového řešení

Jaderná elektrárna má celkem 3 hlavní systémy vložených okruhů:

- Vložený okruh chlazení čerpadel SAOZ.
- Vložený okruh HCČ.
- Vložený okruh chlazení elektropohonů HRK.

5.5.6.2.1 Vložený okruh chlazení čerpadel SAOZ

Systém vloženého okruhu chlazení čerpadel SAOZ (havarijní systémy nízkotlakého a vysokotlakého doplňování chladiva do primárního okruhu, systému pro snížení tlaku v hermetické zóně) zajišťuje těsnící vodu pro tato čerpadla a pro čerpadla vysokotlakého doplňování chladiva i chladící vodu.

Chlazení čerpadel SAOZ se provádí přes vložený okruh, neboť tato čerpadla přicházejí do styku s radioaktivními látkami a tlak chlazeného média je vyšší než tlak chladícího média - technické vody důležité. Vložený okruh chlazení tvoří bezpečnostní mezičlánek zabraňující možnému proniknutí radioaktivních látek do sítě technické vody. Vloženým okruhem jsou chlazeny pouze doplňovací (vstřikovací) čerpadla havarijních systémů, samotný výměník SAOZ je chlazen technickou vodou důležitou.

Systém je tvořen 3 funkčně samostatnými podsystémy, z nichž každý přísluší jedné skupině čerpadel SAOZ. Podsystémy zajišťují svou funkcí provoz havarijních systémů nízkotlakého a vysokotlakého doplňování chladiva a jsou v činnosti jen v době provozu čerpadel těchto systémů. Havarijní systémy a tedy i jejich vložené okruhy mají z hlediska provozních stavů JE zvláštní postavení, jsou určeny k zásahu jen v havarijních podmínkách, za normálního provozu bloku jsou ve stavu pohotovosti.

Každý podsystém vloženého okruhu SAOZ se skládá z čerpadla chladiče, vyrovnávací nádrže, armatur a spojovacího potrubí napojeného na ucpávky čerpadel, případně na chlazení ložisek čerpadel vysokotlakého doplňování příslušného podsystému.

5.5.6.2.2 Vložený okruh HCČ

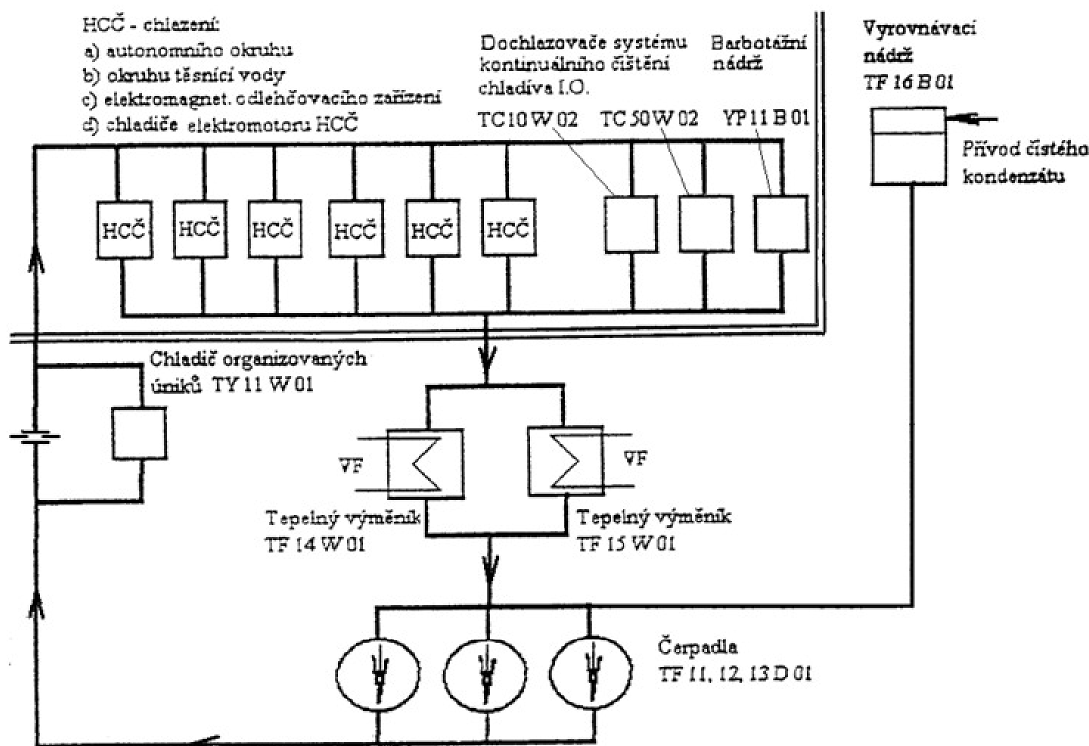
Vložený chladicí okruh HCČ je určen pro chlazení důležitých spotřebičů v reaktorovně přicházejících do styku s radioaktivními látkami a v nichž je tlak chlazeného média vyšší než tlak chladícího média - technické vody důležité.

Základní zařízení systému vloženého okruhu chlazení HCČ tvoří 3 shodná, paralelně řazená čerpadla, 2 shodné, paralelně řazené výměníky, armatury a spojovací potrubí. Dalším zařízením společným pro celý systém je vyrovnávací nádrž. Každé čerpadlo s výměníkem jsou dimenzovány na 100% tepelný výkon. 1 výměník a 2 čerpadla jsou tedy rezervní.

Čerpadlo vloženého okruhu podává vodu na jednotlivé spotřebiče, kde se voda ohřívá. Vratným potrubím se voda přivádí k tepelným výměníkům. Ochlazená voda postupuje zpět na sání čerpadel. Vzhledem k tomu, že výměníky a čerpadla jsou umístěny vně hermetické zóny, zatímco většina spotřebičů je v hermetické zóně, je propojení opatřeno rychlouzavíracími armaturami s pneumatickým pohonem, které se při signálu "velká havárie" automaticky uzavírají. První plnění a další doplňování vloženého okruhu čistým kondenzátem se provádí přes vyrovnávací nádrž.

Systém vloženého okruhu chlazení HCČ zajišťuje chlazení následujících zařízení:

- chladiče ucpávkové vody HCČ,
- chladičů vody autonomního okruhu HCČ,
- chladičů vzduchu pro chlazení elektromotoru HCČ a chlazení elektromagnetů,
- dochlazovačů systému kontinuálního čištění chladiva I.O,
- barbotážní nádrže,
- chladiče organizovaných úniků I.O,
- chladič systému odběrů vzorků I.O,
- chladičů boroměrů a zaplnění jejich stínících nádržek.



Obr. 88. Schéma systému vloženého okruhu chlazení HCČ

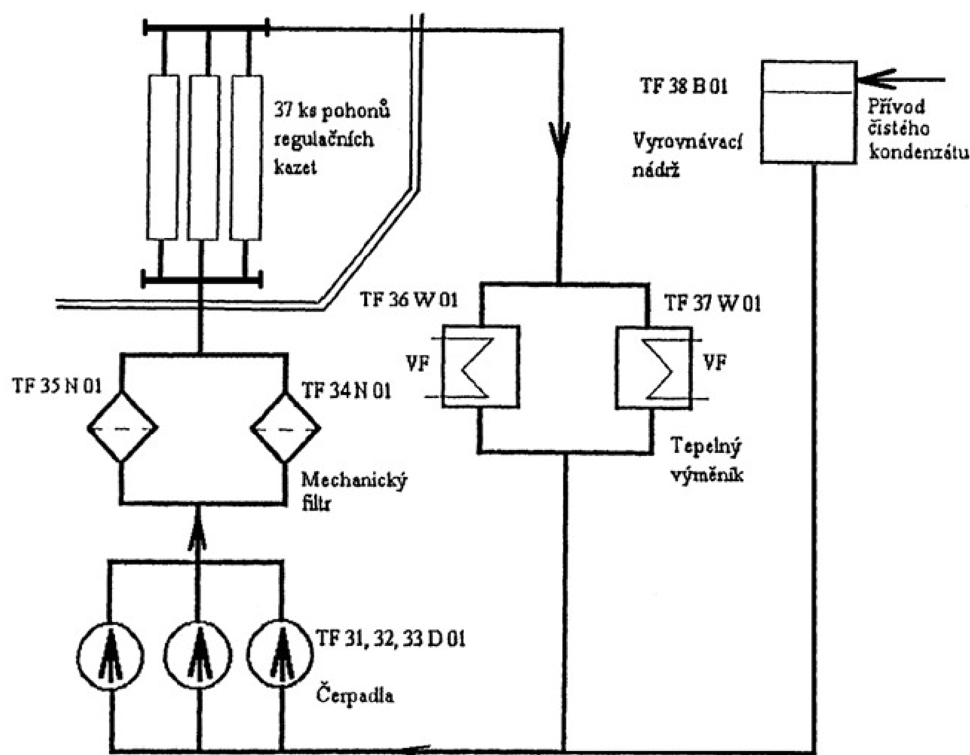
5.5.6.2.3 Vložený okruh chlazení elektropohonů HRK

Systém vloženého okruhu také někdy označovaný RRCS (Reactor Rod Control System) je určen k chlazení pohonů hlavních regulačních kazet, pro chlazení důležitých spotřebičů v reaktorovně přicházejících do styku s radioaktivními látkami a v nichž je tlak chlazeného média vyšší než tlak chladícího média - technické vody důležité.

Vložený okruh tvoří bezpečnostní mezičlánek zabraňující možnému proniknutí radioaktivních látek do systému technické případně i cirkulační vody.

Základní zařízení systému vloženého okruhu chlazení RRCS tvoří 3 shodná, paralelně řazená čerpadla, 2 shodné paralelně řazené tepelné výměníky, 2 shodné, paralelně řazené mechanické filtry, armatury a spojovací potrubí. Dalším zařízením společným pro celý systém je vyrovnávací nádrž.

Základní zařízení, tj. čerpadla, výměníky a filtry, jsou výkonově i funkčně rovnocenná a každé je dimenzováno na 100% výkon. 1 výměník a 2 čerpadla jsou tedy rezervní. Čerpadlo vloženého okruhu podává vodu přes filtr k pohonům RRCS a chladí je. Vratným potrubím se ohřátá voda přivádí k výměníkům. Ochlazená voda postupuje zpět na sání čerpadel. Výtlačné a vratné potrubí je na rozhraní hermetické zóny opatřeno rychločinnými armaturami s pneupohonem, které se automaticky zavírají při signálu "velká havárie".



Obr. 89. Zjednodušené schéma systému vloženého okruhu chlazení pohonů HRK

5.5.6.3 Provoz systému

5.5.6.3.1 Vložený okruh chlazení čerpadel SAOZ

Systém vloženého okruhu SAOZ pracuje pouze v havarijních režimech bloku, v normálních režimech bloku je systém vloženého okruhu v režimu pohotovosti. Odvod tepla se provádí přes výměník do technické vody důležité. Pro zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti systému je každý výměník napojen na jeden ze 3 podsystémů TVD. Základní elektrospotřebiče vloženého okruhu jsou napájeny z 2. kategorie el. zajištěného napájení.

5.5.6.3.2 Vložený okruh HCČ

Normální provoz zajišťuje jedno čerpadlo a jeden výměník, ostatní zařízení je rezervní. V případě poruchy čerpadla startují automaticky obě rezervní čerpadla, potom obsluha jedno z nich odstaví.

Odvod tepla se provádí přes výměník do technické chladící vody důležité. Pro zvýšení spolehlivosti a bezpečného odvodu tepla je každý výměník připojen na jiný podsystém TVD (2. a 3. podsystém).

Elektrospotřebiče vložených okruhů jsou napájeny z 1. a 2. kategorie el. zajištěného napájení. Provoz vloženého okruhu HCČ zajišťuje vždy 1 čerpadlo a 1 výměník, další 2 čerpadla a 1 výměník jsou rezervní.

5.5.6.3.3 Vložený okruh chlazení elektropohonů HRK

Vložený okruh chlazení RRCS tvoří uzavřený podsystém. Provoz vloženého okruhu RRCS zajišťuje vždy jedno čerpadlo, jeden výměník a jeden filtr. Další 2 čerpadla, výměník a filtr jsou rezervní. Připouští se, aby jedno čerpadlo bylo v opravě. Při výpadku pracujícího čerpadla startují automaticky obě rezervní, z nichž jedno pak obsluha odstaví. Odvod tepla se provádí do TVD (1. a 2. podsystém).

Elektrospotřebiče vloženého okruhu jsou napájeny z 1. a 2. kategorie el. zajištěného napájení.

5.5.6.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Vybraná zařízení, důležitá z hlediska bezpečnosti jaderných zařízení byla podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. zařazena do bezpečnostních tříd 2, 3. Základní

komponenty systému spadají do BT 3 pouze rychločinné armatury na rozhraní hermetické zóny patří do BT 2.

5.5.6.5 Zhodnocení provozu systémů

Poruchy, které se vyskytly během dosavadního provozu, neměly vliv na jadernou a provozní bezpečnost. Jejich příčiny byly odstraněny a v současné době systémy pracují bez závad.

5.5.6.6 Vyhodnocení připravenosti systémů na další provoz

Všechny systémy vložených okruhů splňují funkce dané projektantem. Životnost systémů je dostatečná do konce projektované doby provozu bloků. Systém plní svou projektovou funkci. Jsou splněny předpoklady pro bezproblémový provoz minimálně po dobu následujících 10 let.

5.5.7 Chemické režimy primárního okruhu

5.5.7.1 Účel chemických režimů primárního okruhu

Chemickým režimem se rozumí složení technologického média v okruhu a jeho vliv na jadernou bezpečnost, provozní spolehlivost, ekonomiku technologického procesu a na konstrukční materiály zařízení okruhu. Dodržování chemických režimů primárního okruhu tvoří základní předpoklad pro dlouhodobě spolehlivý provoz JE Dukovany. Základní účel média primárního okruhu je sloužit jako chladivo a moderátor a zároveň jako teplosměnné médium mezi reaktorem a parogenerátorem. Druhou významnou funkcí média primárního okruhu je schopnost regulace výkonu reaktoru pomocí obsahu příměsi bóru (izotopu ^{10}B) ve formě roztoku kyseliny borité v chladivu. Dalšími neméně významnými cíli chemických režimů primárního okruhu jsou minimalizace radiačních polí v okolí I.O, minimalizace radioaktivního znečištění, minimalizace produkce kyslíku radiolýzou vody, minimalizace úbytků konstrukčních materiálů, minimalizace tvorby nánosů na teplosměnných površích, potlačování selektivní koroze, potlačování transportu korozních produktů.

5.5.7.2 Koncepce řešení chemických režimů primárního okruhu

Ke kompenzaci reaktivity v primárním okruhu u tlakovodních reaktorů typu VVER se používá kyselina boritá. Vliv této kyseliny na korozi konstrukčních materiálů je potlačován dávkováním alkalizačního činidla KOH. Tím je udržováno slabě zásadité pH chladiva. Hodnota pH primárního chladiva má vliv na procesy koroze konstrukčních materiálů, uvolňování korozních produktů do chladiva, jejich transport a usazování na površích palivových článků a na površích vně aktivní zóny reaktoru. V aktivní zóně vzniká při provozu v aktivní zóně reaktoru radiolytický kyslík. Radiolytický kyslík je jedním z faktorů vzniku koroze materiálů primárního okruhu. K minimalizaci koncentrace kyslíku a posunu chemické rovnováhy reakce je v primárním okruhu neustále udržován přebytek vodíku dávkováním amoniaku. Amoniak se v primárním okruhu radiolyticky a termicky rozkládá na potřebný vodík a dusík.

Díky relativně vysokému obsahu přidaných látek (H_3BO_3, KOH, NH_3) se zvyšuje možnost kontaminace chladiva I.O nečistotami. Tyto nečistoty lze rozdělit do dvou kategorií. Nečistoty, které představují nebezpečí pro konstrukční materiály (Cl^-, F^-) anebo nečistoty, které se průchodem aktivní zóny aktivují, a tím zvyšují radiační zátěž (Ag, Sb). Z těchto důvodů vyplývá požadavek na vysokou čistotu dodávaných chemikálií.

Výběr optimálního chemického režimu záleží na analýze experimentálních dat (dávkové příkony, povrchové aktivity, apod.) a na základě výsledků matematického modelování transportu korozních produktů v I.O.

5.5.7.2.1 Standartní chemický režim

Standartní chemický režim vychází z korelace mezi koncentrací kyseliny borité a sumární koncentrací alkalických iontů K^+, Li^+, Na^+. Je založen na datech Meeka o vlivu teploty na disociaci kyseliny borité. Novější data Mesmera a spol. ale ukazují, že tato korelace nezajišťuje konstantní chemické podmínky během kampaně. Dochází k nárůstu

pH_{300} (vypočtená vysokoteplotní hodnota pH při teplotě 300 °C) z 6,7-7,0 na počátku kampaně na 7,2-7,6 na konci kampaně. Tímto posunem pH_{300} dochází ke změnám v rozpustnosti korozních produktů a jejich transportních procesů. Díky tomu se od tohoto režimu ustoupilo a přechází se na tzv. modifikovaný chemický režim.

5.5.7.2.2 Modifikovaný chemický režim

Záměrem modifikovaného chemického režimu je udržování chemických podmínek v chladivu I.O na konstantní úrovni v průběhu celé kampaně. Tím dochází také k minimalizaci úrovně transportních aktivit a snížení tvorby radiačních polí. Optimální chemický režim by měl zajišťovat ukazatel pH_{300} v rozmezí 7,1-7,3; tj. 7,2±0,1.

5.5.7.3 Vliv chemických parametrů na režimy primárního okruhu

5.5.7.3.1 Rozpuštěný kyslík

Minimalizace rozpuštěného kyslíku je jedním z hlavních cílů chemických režimů, z důvodu zamezení jeho korozního působení na konstrukční materiály v I.O. Je odstraňován odplyněním doplňované vody, použitím hydrazinu (při najíždění bloku) nebo použitím amoniaku.

5.5.7.3.2 Rozpuštěný vodík

Udržování optimální koncentrace vodíku v chladivu je jedním z hlavních cílů strategie řízení chemického režimu primárního okruhu. Rozpuštěný vodík je tvoře radiolytickým a termickým rozkladem amoniaku.

5.5.7.3.3 Amoniak

Amoniak se dávkuje do primárního okruhu ke generaci vodíku. Při nižších teplotách amoniak ovlivňuje i hodnotu pH chladiva, při vyšších teplotách tento vliv klesá.

5.5.7.3.4 Hodnota pH

Hodnota pH je komplexní parametr, který má zásadní vliv na kvalitu chemických režimů primárního okruhu. Má vliv především na procesy, formu a transport korozních produktů. V této souvislosti také ovlivňuje vznik radiačních polí, které díky tomuto parametru mohou být cíleně ovlivňovány.

5.5.7.3.5 Draslík, sodík, lithium

Obsah těchto alkalických iontů kompenzuje acidické působení kyseliny borité a udržují slabě zásaditý charakter chladiva I.O. Draslík je dodáván do chladiva dávkováním hydroxidu draselného KOH. Sodík a lithium vznikají v důsledku neutronových reakcí z jiných složek obsažených v chladivu I.O nebo vstupují do primárního okruhu jako nečistoty.

5.5.7.3.6 Chloridy, sírany, dusičnany, křemičitany

Tyto látky jsou v chladivu nežádoucí a jejich obsah je nutné udržet na co nejmenší úrovni. Dostávají se okruhu například jako součást dodávaných chemikálií (chloridy, sírany) nebo jako prach ze vzduchu v průběhu odstávky (křemičitany). Chloridy a sírany působí svými korozními vlastnostmi. Dusičnany mají oxidační vlastnost a způsobují lokální pokles koncentrace vodíku a tím narušují redukční prostředí.

5.5.7.3.7 Celkový organický uhlík

Organické látky jsou nežádoucí, protože podléhají tepelné i radiační degradaci se vznikem meziproduktů i produktů, které mohou například nadměrně zatěžovat zejména systém speciální očistky plynů. Za zmínku stojí těkavé látky metyljodid a etyljodid, které jsou těkavé a zároveň v nich vázaný jód je radioaktivní.

5.5.7.3.8 Železo

Obsah železa v chladivu je parametr, který vypovídá všeobecně o korozi. V místech s omezeným prouděním může docházet k usazování vrstev korozních produktů. Hrozí, že se pod těmito usazeninami budou koncentrovat soli a budou působit další korozi.

5.5.7.3.9 Radionuklidy

Radionuklidy přítomné v primárním okruhu můžeme rozdělit do čtyř skupin: štěpné produkty, aktivované nečistoty, aktivované korozní produkty a alfa nuklidy. Pohybují se

v primárním okruhu podle svých chemických vlastností, podle chemických podmínek, v nichž se nacházejí, a podle teploty povrchu. Například změnou teploty nebo hodnoty pH se některé radionuklidu mohou transportovat z teplejších míst okruhu na chladnější místa. Snahou chemických režimů je jejich minimalizace a lokalizace v aktivní zóně.

Štěpné produkty jsou výsledkem rozštěpení jádra atomu uranu a jsou lokalizované v palivových článcích. V případě dokonale těsného paliva by tedy neměly být v chladivu přítomny. Druh a množství těchto produktů v palivu tedy je indikátorem těsnosti paliva. Největší význam má sledování izotopů jódu, xenonu, cesia a kryptonu. Aktivované nečistoty vznikají z atomů látek obsažených v chladivu průchodem aktivní zónou, která je zdrojem mohutného neutronového toku. Pokud dojde k záchytu neutronu v atomu, zvýší se tím jeho vnitřní energie a atom se stane radioaktivním. Přebytečné energie se atom zbaví prostřednictvím záření gama. Nejčastějšími aktivovanými atomy jsou sodík (Na^{24}), argon (Ar^{41}) a stříbro (Ag^{110m}). Aktivované korozní produkty podléhají stejnému procesu jako aktivované nečistoty. V jejich případě jsou ale možné i jiné reakce. Jejichž výsledkem je však také radioaktivní nuklid. Nejobvyklejšími radioaktivními korozními produkty jsou chrom (Cr^{51}), mangan (Mn^{54}) a železo (Fe^{59}). Alfa nuklidy jsou radionuklidy, které vyzařují záření alfa. Jsou to například neptunium, plutonium a americium. Do chladiva se dostávají výhradně poškozením pokrytí paliva. Zanedbatelné množství může také pocházet z vnější kontaminace palivových elementů uranem.

5.5.7.4 Řízení a kontrola chemických režimů primárního okruhu

Chemické režimy primárního okruhu jsou dány rozpisem parametrů chladiva pro jednotlivé režimy bloku. K dosažení stanovených parametrů chemických režimů slouží pomocné systémy JE. Vliv parametrů chemického režimu na degradaci zařízení (korozi, erozi) je obtížně měřitelný a projevuje se v delším časovém období. Jsou stanoveny dvě skupiny chemických parametrů, tzv. „řídící parametry“ a „diagnostické parametry“. U řídících parametrů jsou stanoveny postupné akční úrovně a činnosti při jejich dosažení. Rovněž je určen čas, po který je povolen provoz bloku s touto odchylkou.

Sledování chemických parametrů je zajištěno kontinuálními měřeními a rozborem vzorků odebraných ručně.

6 Koncepce bezpečnostních systémů

6.1 Koncepce bezpečnostních systémů

Jakákoliv průmyslová činnost obsahuje určitá rizika pro člověka a životní prostředí a proto také vyžaduje vynakládat úsilí udržet tato rizika nízká, tak jak je technicky a ekonomicky rozumně možné. Typické riziko využívání jaderné energie je spojeno s potenciálním nebezpečím radioaktivního záření.

Základním smyslem řízení jaderné bezpečnosti je naplnění definice bezpečnostního cíle dle kapitoly 1.2.2 této Zprávy, přičemž kombinací projektového řešení elektrárny a jejích průběžných modifikací, způsobu péče o zařízení (kontrol a údržby) a kvality provozování se jaderné bezpečnosti dosahuje řízeným způsobem. Praktickými požadavky jsou tedy:

- chránit personál, obyvatelstvo a okolí JE proti radiologickému ohrožení vytvořením a prováděním efektivní ochrany
- zajistit za normálního provozu JE, aby radiační ozáření personálu a obyvatelstva zůstávalo pod stanovenými limity tak nízké, jak je rozumně dosažitelné (ALARA)
- zajistit omezení radiačního ohrožení obyvatelstva a personálu při nehodách

Toho je dosaženo principiálně dvěma způsoby, jednak **prevencí** případných havárií, jednak omezením jejích následků **(mitigací)**, pokud již k takové havárii došlo. Při projektování elektrárny, péči o zařízení i provozování je vždy třeba dbát na oba způsoby, tedy primárně se věnovat preventivním opatřením, ale vždy uvažovat i jejich selhání a zabývat se zmírněním následků případné nehody.

Pro prevenci nehod a havárií je třeba zvážit všechny události včetně těch s velmi nízkou pravděpodobností a učinit taková projektová i organizační opatření, aby jim bylo pokud možno zabráněno. Pokud k nim však přesto dojde, je třeba mít připraveny

technické prostředky a organizační opatření, aby jejich radiační a společenské důsledky byly co možná nejmenší.

6.1.1 Koncepce projektu a použití bezpečnostních systémů

Jako základní východisko pro koncepci projektu bezpečnostních systémů je použit požadavek na **ochranu čtyř bariér** proti šíření RL (viz kap. 1.2.2.2 této Zprávy) v každém provozním stavu i za havarijních podmínek (kap. 1.2.1). Bezpečnostní systémy jsou koncipovány dle zásad **ochrany do hloubky** (viz kap. 1.2.2.2), přičemž jejich funkce se zpravidla vyžaduje v úrovních DiD 3 (prevence poškození 2. bariéry – pokrytí paliva) a DiD 4 (omezení radiačních následků havárie při poškození paliva). Bezpečnostní systémy zpravidla nejsou určeny pro činnost během normálního provozu elektrárny, přičemž existující výjimky budou zmíněny v jednotlivých kapitolách konkrétních bezpečnostních systémů.

Jelikož tedy bezpečnostní systémy nejsou v normálním provozu jaderné elektrárny v činnosti („stand-by“ režim), je kladen velký důraz na kontrolu stavu jejich připravenosti a je vyžadována celá řada zkoušek a testů, aby pohotovost bezpečnostních systémů byla prokazatelná a v případě potřeby byly schopny plnit svou bezpečnostní funkci.

V případě havarijních podmínek bezpečnostní systémy zajišťují plnění **bezpečnostních funkcí** (viz kap. 1.2.3) a jejich prostřednictvím pak udržují celistvost jednotlivých bariér proti úniku RA látek do životního prostředí.

6.1.2 Klasifikace bezpečnostních systémů

Ve smyslu dokumentů IAEA[10] a v souladu s přijatou praxí v mezinárodním měřítku JE z hlediska použitých konstrukcí, systémů a zařízení zahrnuje jednak konstrukce, systémy a zařízení (dále jen systémy nebo zařízení) splňující požadavky na zajištění jaderné bezpečnosti a jednak systémy sloužící k zajištění vlastního technologického procesu výroby elektrické energie. Z hlediska zajištění jaderné bezpečnosti jsou systémy (zařízení) rozděleny na:

- Důležité z hlediska jaderné bezpečnosti (plní alespoň některou bezpečnostní funkci)
- Nedůležité z hlediska jaderné bezpečnosti (neplní žádnou bezpečnostní funkci)

Systémy (zařízení) **důležité** z hlediska jaderné bezpečnosti jsou podle jejich funkce a významu pro jadernou bezpečnost rozděleny na:

- Bezpečnostní systémy (Safety systems)
- Systémy související s bezpečností (Safety related systems)

6.1.2.1 Bezpečnostní systémy

Bezpečnostní systémy jsou definovány jako systémy důležité pro bezpečnost určené k zajištění **bezpečného odstavení reaktoru** nebo **odvodu zbytkového tepla** z aktivní zóny nebo k **omezení následků** očekávaných provozních událostí a projektových nehod. Jsou to tedy systémy, primárně určené pro úroveň DiD 3.

Bezpečnostní systémy představují množinu systémů zahrnující:

1. **Výkonné (akční) bezpečnostní systémy**, tedy systémy, které na iniciaci ochranných a řídicích systémů vykonávají příslušné bezpečnostní funkce.
2. **Ochranné a řídicí systémy** výkonných bezpečnostních systémů, tedy přístrojové vybavení pro měření, respektive monitorování bezpečnostně důležitých proměnných veličin nebo stavů JB a pro automatické spuštění odpovídajících bezpečnostních systémů s cílem zajistit a udržet JB v bezpečném stavu.
3. **Podpůrné systémy**, tedy systémy zajišťující funkce ochranných a výkonných systémů jako je např. elektrické napájení, chlazení a podobně.

[10] Safety of Nuclear Power Plants: Design for protecting people and the environment No. SSR-2/1, IAEA, VIENNA

Je respektována zásada, že tam kde **výkonné** bezpečnostní systémy nebo **ochranné a řídicí** systémy vyžadují funkceschopnost nějakého zařízení, je vyžadována zároveň i funkceschopnost **podpůrných systémů** pro tato zařízení (zajištění energií a médií, mazání a podobně). Důsledkem je, že na podpůrné systémy se kladou stejné požadavky jako na zařízení, které svou funkcí podporují.

6.1.2.2 Systémy související s bezpečností

Systémy související s bezpečností jsou svým charakterem provozní systémy, které jsou v činnosti během normálního provozu. Jejich regulační nebo limitační funkce zpravidla předchází činnostem bezpečnostních systémů a v případě očekávaných provozních událostí jsou určeny k zabránění přechodu provozního stavu do havarijních podmínek, tedy z úrovně DiD 2 do úrovně DiD 3. Další množinou této kategorie jsou systémy, které během normálního provozu a během očekávané provozní události (DiD 1 a DiD 2) zajišťují normální podmínky pro činnosti zařízení a obsluhy jaderné elektrárny (vzduchotechnika, klimatizace atd.).

Systémy související s jadernou bezpečností představují množinu systémů zahrnující:

1. **Výkonné (akční) systémy** a konstrukce
2. **Ochranné a řídicí systémy** (řídí a spouštějí jednak výkonné systémy související s jadernou bezpečností tak i ostatní nedůležité systémy a zařízení)
3. **Podpůrné systémy** (el. napájení, chlazení a pod.)

Na tyto systémy nejsou kladeny tak přísně požadavky jako na bezpečnostní systémy.

6.1.3 Provedení bezpečnostních systémů

Bezpečnostní systémy jsou z hlediska fyzikálního principu funkce děleny na aktivní a pasivní. Aktivní systémy vyžadují ke své činnosti dodávku elektrické energie a systém jejich inicializace od technologického parametru. Pasivní systémy pak fungují nezávisle na dodávce elektrické energie a činnosti řídicích systémů. Jejich aktivace a činnost se řídí pouze využitím fyzikálních zákonů (gravitace, tlakový rozdíl a hydrostatická výška).

Bezpečnostní systémy (BS) jsou projektovány dle následujících obecných zásad:

1. Redundance – BS jsou na jaderné elektrárně Dukovany instalovány ve trojím identickém provedení (redundance 3x100%), přičemž jsou použita konzervativní kritéria pro jejich projekt a pouze jedna redundance postačuje k řešení postulovaných iniciačních událostí (PIU) v úrovni DiD 3 a zbývající 2 redundance představují funkční zálohu.
2. Nezávislost – jednotlivé redundance BS jsou fyzicky odděleny (zpravidla jejich umístěním ve stavbě) tak, aby nemohlo dojít k přenesení selhání jedné redundance na druhou a aby byla vyloučena poruch za společné příčiny interního ohrožení (např. požáru nebo záplavy). Separace platí pro všechny části bezpečnostního systému, tedy pro technologická zařízení, elektrické napájení i měření, regulaci, automatické systémy spouštění, datové přenosy.
3. Robustnost – BS jsou konstrukčně provedeny tak, aby byla zajištěna jejich odolnost a funkce i v případě interních či externích vlivů, které mohou způsobit havarijní podmínky na elektrárně.
4. Spolehlivost – BS jsou konstruovány jako vysoce spolehlivé i za nepříznivých okolních podmínek, přičemž ve výrobě, montáži, údržbě a testování jsou kladeny zvláštní požadavky na jakost.

Podrobněji a se zahrnutím jednotlivých vlivů jsou tyto zásady rozpracovány v následující kapitole 6.1.4.

6.1.4 Všeobecná bezpečnostní projektová východiska

Všeobecná bezpečnostní projektová východiska se dají tematicky rozdělit do následujících skupin:

1. Postulované iniciační události
2. Bezpečnostní a seismická klasifikace
3. Kvalifikace na podmínky prostředí

4. Ochrana proti interním hazardům (záplavy, letící předměty a švihy potrubí, požár)
5. Ochrana proti externím hazardům, seismická klasifikace
6. Odolnost proti jednoduché poruše
7. Odolnost proti poruše ze společné příčiny
8. Nezávislost (separace)
9. Požadavky na testování

6.1.4.1 Postulované iniciační události

V případě iniciace havarijních podmínek musí být bezpečnostní systémy automaticky uvedeny do činnosti. Ve zdůvodněných případech může být systém uveden do činnosti ručně operátorem na základě havarijního provozního předpisu (EOP) preventivně v předstihu. Činnost systému, tedy plnění bezpečnostní funkce, musí být iniciována jak ve stavu připravenosti systému, tak během jeho funkčních zkoušek. Postulované iniciační události jsou podrobně popsány v kapitole 15.

6.1.4.2 Bezpečnostní a seismická kvalifikace

Obecný přístup k bezpečnostní klasifikaci staveb, komponent a systémů je podrobně popsán v kap. 3.2. **Bezpečnostní klasifikace** je provedena podle kritérií uvedených ve vyhlášce SÚJB č. 132/2008 Sb. Podle této klasifikace je vytvořen seznam **vybraných zařízení**. Vybraná zařízení jsou kategorizovány podle jejich bezpečnostní významnosti do **bezpečnostních tříd 1 až 3**. Při kategorizaci vybraných zařízení se uplatňuje odstupňovaný přístup tak, že do třídy s nižším pořadovým číslem jsou zahrnuty vybrané zařízení, u nichž jsou na zajišťování jakosti nejvyšší nároky.

- **Bezpečnostní třída 1[11] (BT1)** obsahuje zařízení tvořící hranici tlakového okruhu chladiva jaderného reaktoru (reaktor, hlavní cirkulační potrubí, kompenzátor objemu, hlavní uzavírací armatury, parogenerátory) s výjimkou těch zařízení, jejichž poškození je možno kompenzovat normálním systémem doplňování.
- **Bezpečnostní třída 2 (BT2)** obsahuje zařízení bezpečnostních systémů, jejich podpůrných napájecích a řídicích systémů (zajištěného napájení I. a II. kategorie včetně dieselgenerátorů, systému rychlého odstavení reaktoru a systému iniciace bezpečnostních systémů, stavební konstrukce na hranici hermetické zóny a zařízení izolace hermetických prostor).
- **Bezpečnostní třída 3 (BT 3)** obsahuje zařízení podpůrných systémů pro bezpečnostní systémy s výjimkou napájení a řízení, zařízení výkonných systémů souvisejících s bezpečností, jejich podpůrných a řídicích systémů a zařízení systémů pro snižování následků těžkých havárií.

Seismická klasifikace je provedena podle kritérií vycházejících z požadavků plnění základních bezpečnostních funkcí. V souladu s použitým návodem IAEA 50-SG-D15: Seismic design and qualification for nuclear power plants (1992) je pro stavební objekty a technologické systémy aplikována následující kategorizace seismických tříd:

- **1a** – požaduje se plná funkční způsobilost včetně zachování „1b“ v průběhu a/anebo po skončení havarijní události (zemětřesení)
- **1b** – požaduje se zachování mechanické pevnosti a hermetičnosti
- **1c** – požaduje se mechanická pevnost zařízení a jeho ukotvení tak, aby nedošlo při seizmické události k interakci s kvalifikovaným zařízením v jeho blízkosti.

6.1.4.3 Kvalifikace na podmínky prostředí

Kvalifikace na podmínky prostředí stanovuje požadavky na konstrukci zařízení v tomto prostředí umístěném. Projektové parametry prostředí se určují pro normální (mírné) a havarijní (drsné) podmínky. Při stanovení parametrů prostředí se vychází ze skutečně naměřených parametrů (s uvážením míst s nejvyššími provozními parametry tzv. hot spots) a analýz projektových havárií typu ztráty chladiva I.O (LOCA) a prasknutí vysokoenergetických potrubí II.O (HELB). Sledované parametry jsou teplota a relativní

[11] Tlakové části bezpečnostních systémů jsou dále zařazené do seznamu VZSN (vybrané zařízení speciálně navrhované) podle vyhlášky SÚJB č. 309/2005 Sb.

vlhkost atmosféry, přetlak po havárii, dávkový příkon, výška hladiny vody na podlaze a výskyt sprchování. Pro konkrétní zařízení v konkrétním prostředí jsou vyžadovány průkazy odolnosti (kvalifikačními protokoly).

Elektrická zařízení a SKŘ musí být odolná proti vlivu **elektromagnetických jevů**. Schopnost zařízení odolávat těmto jevům se nazývá elektromagnetická kompatibilita - EMC. V normách jsou předepsány úrovně testovacích rušivých veličin pro různé třídy přísnosti zkoušek. Úroveň odolnosti je pro jednotlivé normy stanovena podle předpokládané úrovně rušení v prostředí, ve kterém bude zařízení provozováno. Pro jadernou elektrárnu se uvažuje nejvyšší otevřená třída s velmi vysokou úrovní rušení (průmyslové prostředí s vyšší úrovní rušení, popř. vysokými nároky na spolehlivost). Akceptovatelné kritérium je, že funkce zařízení se nesmí změnit působením předepsané rušivé veličiny.

6.1.4.4 Ochrana proti interním hazardům

Vnitřní záplavy a tryskající médium

Bezpečnostní systémy musí být navrženy s požadavkem na ochranu proti zaplavení. Tato ochrana je provedena vhodným umístěním nebo odolností zařízení před účinky zaplavení. Příkladem dispozičního řešení je umístění čerpadel společně se svými pohony na vyvýšených podstavcích (základna motoru je vyšší než podlaha místnosti) nebo použitím vhodného krytí, chránícího zařízení proti stříkání či zaplavení. Místnosti, ve kterých se nachází bezpečnostně významné zařízení, musí být vybaveny drenážními vpusťmi, které musí být trvale otevřené, aby byly schopné pojmout menší záplavu mimo vlastních tras havarijních systémů a technické vody důležité. Místnosti musí být vybaveny signalizací hladiny na podlaze s vyvedením na blokovou dozornu.

Pro případ velké záplavy musí být vzájemně se zálohující bezpečnostní systémy umístěné v oddělených prostorech či místnostech tak, aby vnitřní záplava, jako jednoduchá porucha, nemohla vyřadit z činnosti více než jednu bezpečnostní divizi. Dveře do těchto místností musí být udržovány důsledně uzavřené.

Vnitřní letící předměty, padající břemena, švihy potrubí

Bezpečnostní systémy musí být navrženy s požadavkem na ochranu před vnitřními letícími předměty, padajícími břemeny a postulovaným roztržením vysokoenergetických potrubí. Roztržení potrubí se musí předpokládat zejména u vysokoenergetických potrubí s tlakem > 2 MPa a teplotou > 100°C v místech s vyšším napěťovým namáháním či únavovým poškozením. Ochrana před švihy potrubí musí být zajištěna v místech postulovaného roztržení dostrojením potrubí omezovači švihu nebo oddělením ochrannými stěnami.

Ochrana před letícími předměty musí být u bezpečnostních systémů řešena dispozičním umístěním vzájemně se zálohujících redundantních systémů do oddělených místností tak, aby v případě poškození jednoho redundantního systému letícím předmětem bylo zajištěno, že bude vyřazen pouze tento jeden bezpečnostní systém a porucha tak neohrozí zbývající redundantní systémy a celkově ani bezpečnost JE.

Bezpečnostní systémy dále musí zachovávat přiměřenou robustnost, která zajišťuje dostatečnou odolnost vůči padajícím břemenům. Mimo provádění údržbářských prací nesmějí být nad částmi bezpečnostních systémů ponechávány zavěšená břemena.

Vnitřní požár

Požární bezpečnost se zajištuje pasivními (fyzické oddělení a požární odolnost jednotlivých požárních úseků) a aktivními prostředky (EPS, zásah hasičské jednotky).

Vzájemně se zálohující bezpečnostní systémy musí být včetně elektro části a SKŘ umístěné v oddělených prostorech či místnostech tvořící požární úseky tak, aby vnitřní požár, jako jednoduchá porucha, nemohl vyřadit z činnosti více než jednu bezpečnostní divizi (jeden redundantní bezpečnostní systém). Dveře do těchto místností musí být udržovány důsledně uzavřené. Požární odolnost konstrukcí, uzávěrů a protipožárních klapek jednotlivých požárních úseků musí být minimálně 90 minut. Místnosti jednotlivých

bezpečnostních systémů musí být vybaveny požárními hlásiči a vhodnými prostředky pro možnost rychlého uhašení požáru.

Strojní části bezpečnostních systémů jako systémy přepravující vodní médium nejsou obecně náchylné k ohrožení požárem a nejsou na ně kladeny zvláštní požadavky.

6.1.4.5 Ochrana proti externím hazardům, seismická kvalifikace

Stavební objekty, ve kterých se nacházejí bezpečnostní systémy, musí být odolné vůči externím rizikům až do úrovně odpovídající periodicitě výskytu jednou za 10 000 let. Jedná se hlavně o zatížení větrem, sněhem, extrémními teplotami, odolnost vůči vnějším tlakovým vlnám a pádu referenčního letadla.

Bezpečnostní systémy musí být seizmicky odolné do úrovně SL 2, což odpovídá maximálnímu povrchovému zrychlení na úrovni terénu 0,1 g vztaženému ke spektru odezvy na podlažích, kde je zařízení systému fyzicky umístěné (-6,5 m, 0 m). Aktivní prvky, které zajišťují provedení bezpečnostních funkcí, musí být během seismické události do úrovně SL2 plně provozuschopné. Pasivní prvky (potrubí, nádrže) a aktivní prvky zajišťující provozní funkce musí zachovávat integritu. Ostatní zařízení, které je umístěno v prostorech bezpečnostních systémů, nesmí při seismické události do úrovně SL2 ohrozit schopnost plnit bezpečnostní funkce (typicky integritu potrubí a čerpadel v důsledku pádu pomocných konstrukcí, potrubí apod.). Obdobně i řídící, ovládací a napájecí obvody a zdroje elektrického napájení, zajišťující plnění bezpečnostních funkcí, musí být seizmicky odolné na stejnou referenční hodnotu SL2.

6.1.4.6 Ochrana proti jednoduché poruše

Bezpečnostní systémy musí být řešeny tak, aby pro jakoukoliv PIU, uvažovanou v projektu, bylo zajištěno plnění bezpečnostních funkcí i v případě vzniku libovolné dodatečné (na PIU nezávislé) jednoduché poruchy.

Při aplikaci kritéria jednoduché poruchy se současně uvažuje nejhorší možná dovolená konfigurace bezpečnostních systémů při zohlednění údržby, funkčních zkoušek, provozních kontrol a oprav. V projektu JE Dukovany je dále uvažovaná dodatečná konzervativní předpoklad ztráty napájení vlastní spotřeby po iniciační události. Tato podmínka nemá u většiny událostí (s výjimkou události typu zemětřesení, extrémní meteorologické podmínky) žádný racionální fyzikální základ a uplatňuje se především jako konzervativní předpoklad v bezpečnostních analýzách.

Z důvodu zohlednění těchto požadavků jsou aktivní bezpečnostní systémy řešeny s redundancí 3x100%, tedy jsou tvořeny třemi nezávislými systémy (včetně nádrží, čerpadel, armatur a elektrického napájení). Pasivní bezpečnostní systémy jsou řešeny s redundancí minimálně 2x100%.

Při vzniku PIU se u jedné ze tří divizí aktivních BS předpokládá, že má jednoduchou poruchu, která nebyla zjištěna v rámci zkoušení provozuschopnosti BS (tzv. selhání na výzvu), druhá divize může být neúčinná z důvodu vyvolaného PIU a třetí divize pak plní BF. V režimech funkčních zkoušek musí být v případě výskytu mimořádné situace zajištěn automatický přechod BS do režimu plnění bezpečnostních funkcí.

6.1.4.7 Ochrana proti poruše ze společné příčiny

Podle IAEA SSR-2/1 je odolnost proti poruše ze společné příčiny vyžadována pro zajištění funkce bezpečného odstavení reaktoru a dále pro bezpečnostní systémy založené na digitálních zařízeních, pokud není možné prokázat jejich spolehlivost s vysokou mírou důvěryhodnosti.

Diverzita může být provedena napříč systémy nebo uvnitř jednoho systému. Příkladem mezisystémové diverzity je odstavení bloku havarijní ochranou, resp. zvýšením koncentrace kyseliny borité v primárním okruhu. Příkladem diverzity uvnitř jednoho bezpečnostního systému je použití diverzních ochranných signálů rozdělených do dvou linií ochrany, kdy jsou kritéria přijatelnosti splněna pro každou PIU i v případě zapracování

signálu, který je generován jako druhý a vyhodnocen na základě jiného fyzikálního parametru a jiným měřícím obvodem.

6.1.4.8 Nezávislost

Provedení vzájemně redundantních bezpečnostních systémů musí být fyzicky i funkčně zcela nezávislé, umístěné v samostatných místnostech a kompletně oddělené jak po strojní tak ovládací a elektro části. Systémy nesmí být technologicky propojené (z pohledu plnění bezpečnostních funkcí). Tento požadavek se uplatňuje nejen na samotné výkonné bezpečnostní systémy, ale také na podpůrné a ochranné systémy (napájení, chlazení, SKŘ). Provedené bezpečnostních systémů je plně redundantní včetně divizí zajištěného napájení II. Kategorie (silové napájení) a divizí zajištěného napájení I. Kategorie (řídicí ochranné systémy).

Mezi další požadavky na systémy zařazené do úrovně DiD 3 patří požadavek na funkční a fyzické oddělení od systémů úrovně DiD 1 a DiD 2 (systémy bez vlivu na bezpečnost, popř. systémy s bezpečností související). Provozní systémy musí být v okamžiku zahájení činnosti BS automaticky odpojené. Tím je zabráněno možnosti zavlečení nesouvisející poruchy do systému úrovně DiD 3.

6.1.4.9 Požadavky na testování

Vzhledem k tomu, že bezpečnostní systémy jsou během normálního provozu v záloze („stand-by“) musí umožňovat provádění kontrol a zkoušek bez významnějšího snížení bezpečnosti. Součástí projektových požadavků je pouze umožnění provádění kontrol a zkoušek (funkčních, tlakových a pevnostních atd.).

6.1.5 Zajištění spolehlivosti a jakosti bezpečnostních systémů

6.1.5.1 Konstrukce a údržba bezpečnostních systémů

Spolehlivost funkce bezpečnostních systémů je dána jakostním provedením komponent, montážních prací při výstavbě a rekonstrukcích, kvalitou údržby a způsobem provozování. Podle systému klasifikace bezpečnostních systémů do bezpečnostních tříd a navazujícího seznamu vybraných zařízení podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. (kap. 6.1.2) je stanoven i způsob zajištění a řízení jakosti jednotlivých položek. Pro jednotlivá vybraná zařízení jsou zpracovány individuální programy zajišťování jakosti.

Důležitým prvkem pro zajištění spolehlivosti bezpečnostních systémů je jakostní projekt, který musí být proveden podle výše uvedených zásad a požadavků a dále s důrazem na takové projektové řešení, aby:

- nedošlo ke ztrátě funkce provozní a údržbářskou činností personálu
- bezpečnostní systémy byly dostatečně chráněny před dlouhodobými provozními vnějšími vlivy (např. trvale zvýšená teplota či vlhkost prostředí)
- konstrukce bezpečnostních systémů umožňovala snadné manipulace a minimalizovala možnost lidských chyb

Z hlediska způsobu provozování a údržby zařízení je významným činitelem spolehlivosti i kultura bezpečnosti veškerého personálu (ať už vlastních zaměstnanců nebo dodavatelů) při manipulacích na bezpečnostně významném zařízení. Při činnostech na bezpečnostně významném zařízení je třeba přísně dbát na dodržování provozních předpisů, postupů oprav a obecných zásad chování personálu.

6.1.5.2 Požadavky na sledování

Zvláštní důraz pak je třeba dát na testování bezpečnostních systémů během normálního provozu i při jejich uvádění do chodu po odstávkách na výměnu paliva. Spolehlivost bezpečnostních systémů je jeden z klíčových ukazatelů, kterým lze měřit kvalitu řízení jaderné bezpečnosti na jaderné elektrárně. Způsoby sledování spolehlivosti bezpečnostních systémů se liší podle toho, zda se jedná o aktivní nebo pasivní systém.

Stav bezpečnostních systémů JE Dukovany je periodicky hodnocen formou tzv. „Health reportu“. Účelem tohoto hodnocení je shrnout a vyhodnotit informace o provozu a stavu systému ve stanovených oblastech a včas identifikovat nepříznivý vývoj stavu systému, případně nedostatečnost stávajících programů péče o majetek, a umožnit sledování spolehlivosti systému, včasné přijetí potřebných opatření a zaměřit zvýšenou pozornost managementu na řešení identifikovaných odchylek od požadovaného stavu systému. K hodnocení spolehlivosti systémů se využívají především níže uvedené parametry:

- Fyzický stav
- Udržovatelnost a zajištění údržby
- Bezpečnost

Fyzický stav

Fyzický stav, spojený s poruchovostí zařízení, se stanovuje vzhledem k počtu příkazů údržby. Celkový stav systému se vyhodnocuje na základě celkového součtu bodů dosažených v jednotlivých kritériích. Sledovaná kritéria jsou následující:

- Počet ukončených pracovních příkazů na systému a jejich spěšnost (požadovaná nutnost provedení do určité doby)
- Počet vystavených provozních instrukcí na abnormální stav zařízení
- Počet zjištění nadměrně opotřebovaného stavu zařízení
- Počet zjištění neopravitelného stavu zařízení
- Výskyt významnějších zjištěných odchylek v protokolech z provozních kontrol
- Výskyt provozních zkoušek se závadou

Udržovatelnost a zajištění údržby

Uvedený parametr posuzuje, zda je možné zajistit údržbou požadovanou bezporuchovost a pohotovost, zda je možné zajistit tuto údržbu z hlediska dosažitelnosti potřebných ND a materiálů a posuzuje dosažitelnost potřebných údržbových kapacit. Sledovaná kritéria jsou dvě:

- Dostupnost náhradních dílů
- Doba opravy

Bezpečnost

V rámci této oblasti se sleduje dopad aktuálního stavu systému na dodržování bezpečnostních požadavků pomocí parametrů a následujících kritérií:

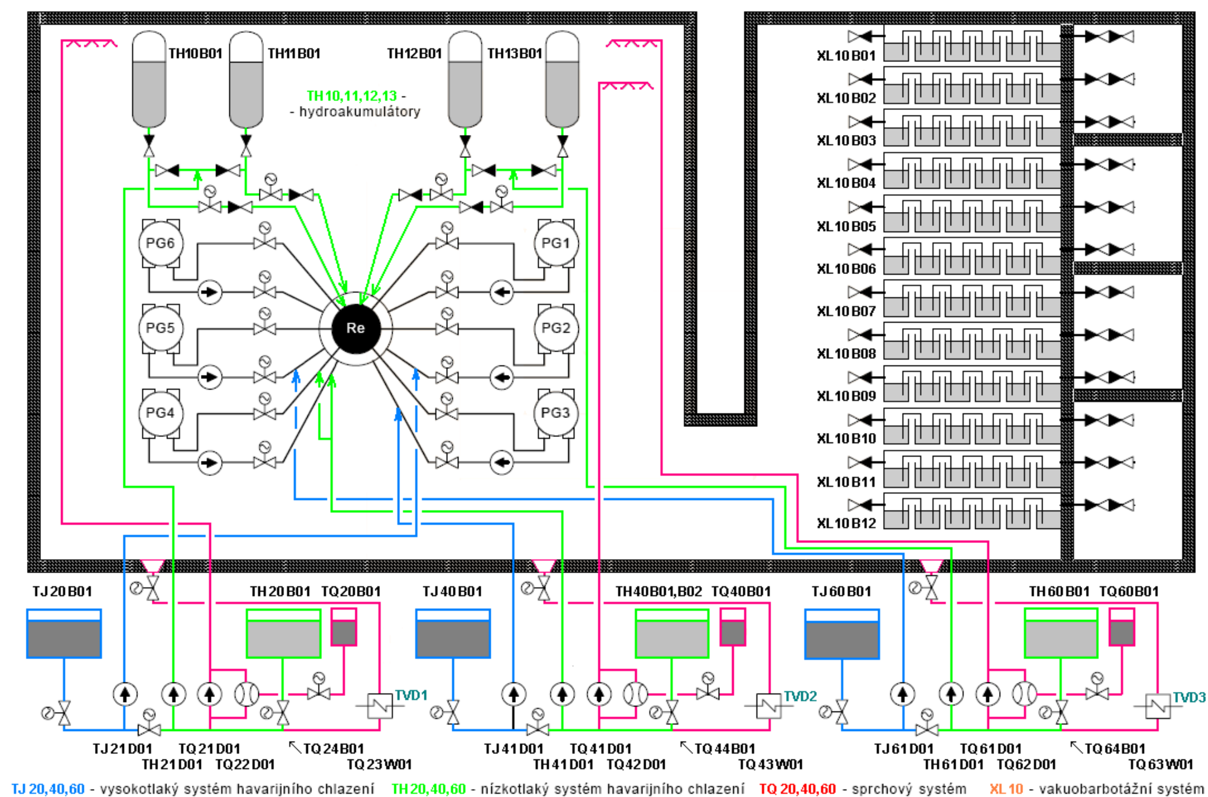
- Počet porušení Limit a podmínek (kap. Error: Reference source not found)
- Neplánované čerpání Limit a podmínek
- Počet schválených BCO (zdůvodnění přijatelnosti provozu při bezpečnostní neshodě)

6.1.5.3 Přehledové schéma hlavních bezpečnostních systémů JE Dukovany

Na následujícím schématu je zobrazena logika projektu hlavních bezpečnostních systémů reaktoru VVER 440. Je z něj patrné jednak třídivizní uspořádání identických aktivních systémů (3 x 100%), jednak složení pasivních systémů hydroakumulátorů TH a barbotáže XL, přičemž logika značení je následující:

- První dvě písmena – označení systému (TJ – vysokotlaký, TH – nízkotlaký, TQ – sprchový, XL - barbotážní)
- Následující dvojčíslí – označení divize (2X – první, 4X – druhá, 6X – třetí)
- Další znak je označení typu zařízení (D – čerpadlo, B – nádrž, W – výměník)
- Poslední dvojčíslí je pořadovým číslem zařízení v systému

Například **TJ21D01** je tedy vysokotlaký systém (TJ), první divize (21), čerpadlo (D), první v pořadí (01). Je zde rovněž naznačena souvislost jednotlivých divizí s divizemi technické vody důležité, označené TVD1, TVD2 a TVD3.



Obr. 90. Přehledové schéma hlavních bezpečnostních systémů JE Dukovany

6.2 Systémy hermetické zóny a jejich ochrany

6.2.1 Účel systému hermetické zóny

Jako čtvrtá základní bariéra proti úniku RA látek do životního prostředí je použit kontejnment. Je technicky proveden jako železobetonová stavební konstrukce s vnitřní ocelovou vystýlkou, která je pro snížení přetlaku v případě havárie vybavena pasivním systémem snížení tlaku, tzv. barbotáží, a systémem záchytných plynojemů pro záchyt nekondenzovatelných plynů.

Kontejnment je dle původního ruského projektu označován jako hermetická zóna (a tento termín používáme i dále), přičemž se tím rozumí prostorově a funkčně vymezený prostor stavebního objektu JE Dukovany „800/1 - 01 - Budova reaktoru", sloužící k izolaci radioaktivních látek od životního prostředí v běžném provozu i v případě ztráty těsnosti reaktoru nebo primárního okruhu.

Systém hermetické zóny se skládá z hermetické obálky (stavební konstrukce) včetně izolačních armatur, vzduchotechnických systémů odvodu tepla (TL), sprchového systému pro snížení přetlaku (TQ) a vakuobarbotážního kondenzátoru (XL). Z pohledu jaderné a radiační bezpečnosti se jedná o čtvrtou, tedy poslední bariéru proti úniku RA látek do životního prostředí (kap. 1.2.2.2).

Hermetická zóna plní třetí základní bezpečnostní funkci *„Izolace radioaktivních materiálů, stínění proti radiaci a řízení plánovaných radioaktivních výpustí jakož i omezení havarijních radioaktivních úniků"*. Hermetická zóna slouží k lokalizaci RA látek uvolněných do prostoru ze zařízení primárního okruhu a omezení úniku ionizujícího záření při řešení události úrovně DiD 3. Její význam je rovněž klíčový při událostech, řešených na úrovni DiD 4, neboť v takové situaci by se jednalo o poslední bariéru, zadržující vysokou koncentraci RA látek a izolující je od životního prostředí.

Jelikož hermetická zóna plní i funkci v úrovni DiD 1 a DiD 2, jsou její součástí rovněž vzduchotechnické systémy TL, které však do bezpečnostní funkce v úrovni DiD 3 nezasahují.

6.2.2 Koncepce projektového řešení systému hermetické zóny

6.2.2.1 <u>Hermetická obálka</u>

Hermetickou obálkou je stavební konstrukce, která je prostorově a funkčně vymezena jako část stavebního objektu Budova reaktoru HVB I resp. HVB II. Je tvořena místnostmi opatřenými hermetickou ocelovou vystýlkou (tzv. oblicovkou), která zaručuje jejich těsnost a zabraňuje nepřípustnému úniku aktivity z hermetického prostoru v případě zvýšeného tlaku uvnitř této zóny. Prostupy do hermetického stavebního objektu jsou opatřeny hermetickými uzávěry (dveřmi nebo poklopy).

Hermetická obálka má pouze pasivní (těsnicí) funkci, avšak její součástí je **systém izolace od okolí**. Součástí systému hermetické obálky jsou penetrace stěn, které jsou řešeny pomocí hermetických průchodek. Průchodky jsou buď technologické (penetrace potrubím) nebo elektrické (penetrace kabelem). Veškerá potrubí procházející technologickými průchodkami přes stěny hermetické obálky, které tvořící hranici hermetické zóny, jsou opatřena rychločinnými uzavíracími orgány, které tvoří systém izolace od okolí a uzavírají se v případě havarijní situace. Průchody kabeláže jsou řešeny systémem hermetických kabelových průchodek. Napájením oddělovacích armatur na hranici HZ ze systému zajištěného napájení I. kategorie a konstrukcí tlakovým vzduchem ovládaných rychločinných armatur, které jsou vybaveny vlastními pomocnými vzdušníky, je zajištěna možnost okamžité izolace HZ bez časového okna způsobeného náběhem dieselgenerátoru v případě ztráty napájení vlastní spotřeby z pracovních zdrojů. Systém izolace od okolí je tedy aktivní a pro svoji správnou činnost vyžaduje elektrické napájení a systém rozvodu vysokotlakého vzduchu US. Systém izolace HZ od okolí má třídivizní uspořádání k oddělení přitom stačí činnost jedné divize.

Součástí hermetické obálky je rovněž systém pasivních rekombinátorů H_2 pro likvidaci vodíku, vznikajícího při těžké havárii (DiD 4). Pro zajištění integrity tlakové nádoby reaktoru v případě použiti „In-Vessel“ strategie slouží systém sifónového přepouštění chladiva do prostoru šachty reaktoru, který externím zalitím a chlazením tlakové nádoby zajistí její integritu v případě poškození aktivní zóny reaktoru (DiD 4).

6.2.2.2 Sprchový systém

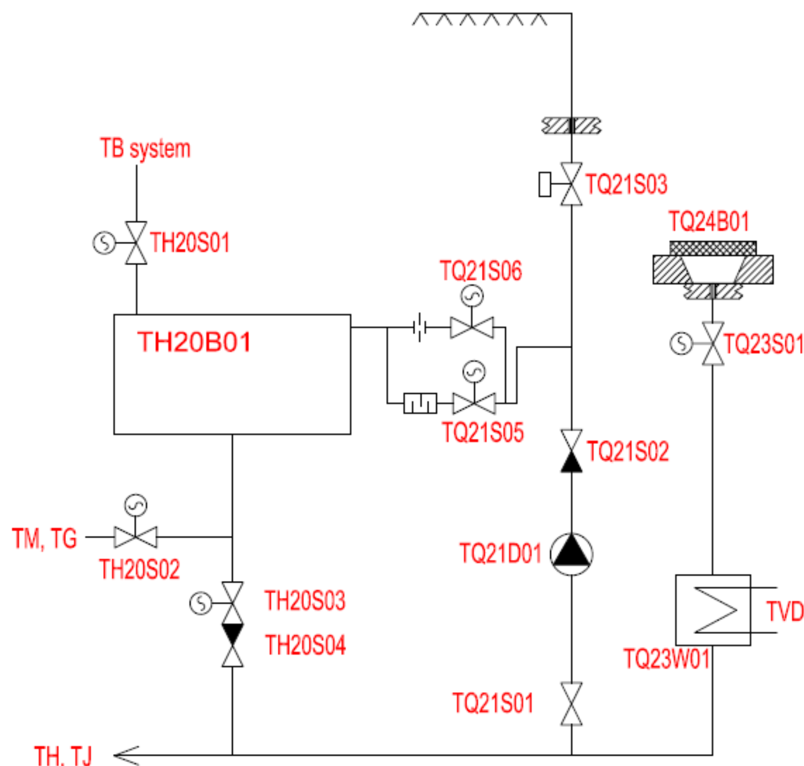
Sprchový systém TQ je primárně určený ke snížení tlaku (až dosažení podtlaku) uvnitř hermetické obálky a udržení její integrity a dále pro zamezení úniků RA látek přes malé netěsnosti HZ do okolí (při nehodách spojených s únikem primárního média). Hlavní funkce, které TQ systém pokrývá, jsou následující:

- snižování tlaku v hermetické obálce
- odvod tepla z hermetické obálky
- zachytávání jódu 131

Snížení absolutního tlaku v hermetických prostorech je zabezpečeno kondenzací odpařeného chladiva na kapičkách rozstřikované studené vody s roztokem H_3BO_3 12 g/kg a odvodem tepla v tepelných výměnících. Dodávku vody zajišťují TQ čerpadla při tlaku 0,4 MPa a průtoku cca 380 - 520 m^3/hod do jednotlivých kolektorů opatřených rozstřikovacími tryskami. Dodatečnou funkcí je přisávání roztoku KOH s hydrazinhydrátem N_2H_4 do sprchovacího média, přičemž toto aditivum slouží pro vázání jódu 131 z atmosféry hermetické obálky.

Aktivní část sprchového systému (čerpadla, rychločinné armatury, výměník pro recirkulační fázi a nádrž chemických aditiv) je umístěna mimo vlastní hermetickou obálku, pasivní část (rozstřikovací trysky) jsou pak umístěny ve vnitřní části. Sprchový systém má **třídivizní uspořádání** a jeho část (zásobní nádrž sprchovacího roztoku) je společná s nízkotlakým bezpečnostním vstřikovacím systémem chladiva do reaktoru TH.

V případě havárie typu LOCA (únik primárního média) je uniklé médium shromážděno na podlaze boxu parogenerátorů. Pro jeho další využití a možnost chlazení aktivní zóny v recirkulační fázi jsou součástí systému TQ rovněž sací jímky, které jsou umístěny na podlaze hermetického boxu parogenerátorů. Sací jímky jsou konstrukčně provedeny tak, aby bylo zabráněno jejich ucpání troskami poškozené technologie a izolace, které jsou v havarijním režimu uvnitř boxu parogenerátorů předpokládány. V případě přechodu činnosti sprchového systému na recirkulační fázi je sprchovací médium chlazeno na tepelném výměníku, kde dochází k předání tepla do systému technické vody důležité (VF) a jeho odvodu na koncový jímač tepla.



Obr. 91. Sprchový systém – zjednodušené schéma 1. divize (chybí sání reagentů)

Legenda – hlavní komponenty:

TQ21D01 – sprchové čerpadlo

TH20B01 – zásobní nádrž roztoku H3BO3 (40 g/kg)

TQ24B01 – sací jímka na podlaze boxu parogenerátorů

TQ23S01 – armatura sání z jímky na podlaze v boxu parogenerátorů

TQ21S03 – rychločinná pneumatická armatura otevření sprchové trasy

6.2.2.3 Vakubarbotážní kondenzátor

Vakuobarbotážní systém XL slouží k zachycení průvodních dynamických účinků proudu parovzdušné směsi při havárii vysokoenergetického potrubí primární nebo sekundární části elektrárny, které jsou umístěny uvnitř hermetické obálky, k pohlcení podstatné části uvolňované tepelné energie a k lokalizaci nekondenzovatelných plynů v záchytných komorách. Účelem systému je potlačit nárůst tlaku v hermetické obálce a ochránit tak stavební konstrukci (vlastní 4. bariéru) před poškozením. Vakuobarbotážní systém pracuje v součinnosti se **sprchovým systémem** ochranné obálky. Vakuobarbotážní systém je pasívní bezpečnostní systém. Do činnosti se uvádí samovolně vzniklým tlakovým rozdílem mezi hermetickými prostorami v boxu parogenerátorů (místnost A201), paluby hlavních cirkulačních čerpadel (místnost A301) a záchytnými komorami vakuobarbotážního systému.

Vakuobarbotážní systém XL je tvořen souborem 12 pater nad sebou umístěných žlabů naplněných roztokem H_3BO_3 o koncentraci 12 g/kg (zajištění podkritičnosti chladiva v případě recirkulační fáze řízení havárie typu LOCA) a s teplotou do 50 °C (účinná kondenzace sprchované parovzdušné směsi v průběhu plnění bezpečnostní funkce). Žlaby vytvářejí hydrostatický vodní uzávěr o malém hydraulickém odporu 5kPa, daným výškou hladiny roztoku H_3BO_3 50 cm. Objem jednoho žlabu je cca 114 m^3. Objem vody z barotážního žlabu je použit pro přídavné sprchování parovzdušné směsi v hermetické

obálce pomocí pasivního vylití sifónovým efektem přes dírkované plechové přepážky, které zajišťují rozstřik vody do prostoru. Vlastní vodní objem všech barbotážních žlabů se tak dostává na podlahu boxu parogenerátorů a slouží jako další dodatečný zdroj chladiva pro recirkulační fázi průběhu havárie.

Spodní prostor vodního uzávěru je spojen s HP, prostor nad uzávěrem je spojen přes zpětnou armaturu DN 500 se záchytnými komorami a přes zpětné armatury DN 250 zpět s HP. Jedna záchytná komora je společná pro trojici nad sebou umístěných žlabů - celkem jsou tedy 4 záchytné komory. Celý vakuobarbotážní kondenzátor je součástí hermetického prostoru.



Obr. 92. Řez hermetickou zónou RB VVER 440 – stavební konstrukce HP oranžově

Legenda:
1. Vrchlík šachty reaktoru
2. Šachta reaktoru- vrchní část
3. Box parogenerátorů
4. Šachta reaktoru – spodní část
5. Paluba hlavních cirkulačních čerpadel
6. Barbotážní žlaby XL
7. Plynojemy systému XL
8. Koridor mezi boxem parogenerátorů a barbotážní věží
9. Šachta výměny paliva
10. Bazén skladování použitého paliva
11. Reaktorový sál

6.2.3 Provozní režimy hermetické zóny

Systém hermetické zóny je projektově navržen jako bezpečnostní systém na řešení havárií úrovně DiD 3, ale na dosažení bezpečnostních cílů se podílí ve všech úrovních DiD 1 - 4.

6.2.3.1 Hermetická obálka

V režimech normálního provozu a očekávaných provozních událostí (DiD 1 a 2) je v HZ prací vzduchotechnických systémů TL40 a TL70 udržován stálý podtlak -50 Pa. Podtlak v hermetické zóně zaručuje nulový neřízený únik RA látek do životního prostředí. Teplo, uvolňované z technologie primárního okruhu je odváděné pomocí cirkulačních vzduchotechnických systémů TL10 a TL11. V případě iniciace bezpečnostních systémů (DiD 3) jsou všechny provozní systémy odstaveny a hermetická zóna je izolována. Hermetická obálka pak zajišťuje izolaci RA látek od životního prostředí.

Pro funkci izolace od okolí je třeba systém elektrického napájení ZN I, systém vysokotlakého vzduchu US (zdroj energie pro rychločinné armatury) a systém ESFAS (iniciační systém), které jsou rovněž zařazeny do úrovně DiD 3.

V případě těžké havárie (DiD 4) se do prostoru hermetické obálky začne dostávat vodík, který vzniká při přehřátí pokrytí paliva reakcí zirkonia s vodou. Pro řešení tohoto stavu pak slouží pasivní rekombinátory vodíku, které katalytickou reakcí vodíku s kyslíkem (z původní atmosféry hermetické obálky) snižují jeho koncentraci na nevýbušnou úroveň.

V případě těžké havárie, kdy dojde ke ztrátě chlazení aktivní zóny reaktoru, její degradaci a tavení, je možno použít systém pro zaplavení šachty reaktoru. Tlaková nádoba je pak externě chlazena „ponořením“ do vody, čímž je zabráněno jejím protavení a úniku degradovaného paliva ve formě taveniny vně tlakové nádoby. V tomto stavu je pak částečně chráněna třetí bariéra proti úniku RA látek, avšak hlavním smyslem opatření je ochrana konstrukce hermetické zóny před jejím poškozením uniklou taveninou.

6.2.3.2 Sprchový systém

V režimech normálního provozu a očekávaných provozních událostí (DiD 1 a 2) je systém udržován v pohotovostním režimu a jsou prováděny pravidelné kontroly dle Limit a podmínek (kap. Error: Reference source not found).

V případě iniciace havarijních podmínek přetlakem v hermetické obálce (při signálu ESFAS “Přetlak v boxu +10kPa“) je systém automaticky uveden do činnosti (DiD 3). V tomto režimu pak systém sprchováním parovzdušné směsi v prostoru boxu parogenerátorů (A201) a její kondenzací snižuje vznikající přetlak, omezuje tak namáhání stavební konstrukce hermetické obálky a snižuje riziko úniku RA látek do okolí. Pro sprchování je využit roztok z nádrže nízkotlakého havarijního systému TH a po jejím vyčerpání a vylití na podlahu boxu parogenerátorů pak dojde k automatickému přepojení sání čerpadel TQ na sací jímky, které jsou umístěny na podlaze. Nasávaný roztok je chlazen na tepelném výměníku a opětovně použit pro sprchování objemu boxu parogenerátorů. Dalším zdrojem média pro recirkulační fázi je cca 1200 m^3 roztoku kyseliny borité z barbotážních žlabů, které jsou v okamžiku této fáze již vylity na podlaze boxu parogenerátorů. Tímto způsobem pak dochází k odvodu tepla z hermetické obálky do technické vody důležité (TVD) a dále na koncový jímač tepla, kterým jsou ventilátorové věže pro chlazení TVD.

6.2.3.3 Vakuobarbotážní kondenzátor

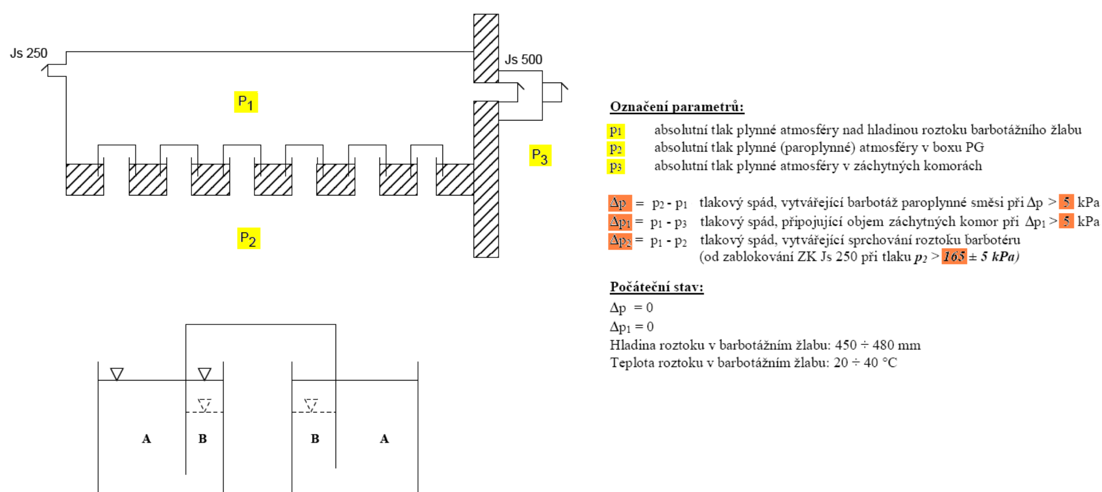
V režimech normálního provozu a očekávaných provozních událostí (DiD 1 a 2) je systém udržován v pohotovostním režimu a jsou prováděny pravidelné kontroly dle Limit a podmínek (kap. Error: Reference source not found).

V případě iniciace havarijních podmínek typu LOCA (primární nebo sekundární) je pasivní systém XL automaticky uveden do činnosti (DiD 3). Jeho činnost závisí na velikosti úniku při havárii LOCA.

LOCA o ekvivalentním průměru menším jak 200 mm – parovzdušná směs je vytlačována spojovacím koridorem z boxu parogenerátorů do prostoru barbotéru a následně (pokud je rozdíl tlaku pod a nad hladinou korýtka dostatečný k překonání hydrostatického tlaku média ve žlabu) probublává přes vodní uzávěry a kondenzuje vrstvou vody ve žlabech. Tím se významně sníží její tepelná energie a objem. Nezkondenzovatelné plyny se shromažďují nad hladinou barbotéru a způsobují narůstání tlaku v tomto prostoru. Při zvýšení tlakového rozdílu na 10 kPa mezi prostorem nad hladinou a plynojemy, začínají otevírat mechanické přepouštěcí zpětné klapky Js 500 a přepouštět plyny do plynojemů. V průběhu lokalizace nehody dojde k postupnému vyrovnávání tlaků mezi prostorem nad hladinou barbotéru a plynojemem, následnému uzavření přepouštěcích zpětných klapek Js 500 a zadržení plynu v záchytných komorách. V průběhu LOCA o ekvivalentním průměru menším jak 200 mm nedochází ke zvýšení tlaku v hermetické obálce před Systémem XL nad 65 kPa a zpětné armatury DN 250 jsou odblokované a umožní vyrovnání tlaku nad hladinou žlabu zpět do boxu parogenerátorů – **k vylití žlabů nedochází**.

LOCA o ekvivalentním průměru větším jak 200 mm – průběh lokalizace je totožný s předchozím s tím rozdílem, že v průběhu havárie dojde ke zvýšení tlaku v boxu parogenerátorů před Systémem XL nad 65 kPa a zpětné armatury DN 250 se zablokují. V důsledku kondenzace páry v hermetických prostorech (práce TQ čerpadel sprchového systému, odvod tepla do stěn hermetických prostor) dochází k poklesu tlaku v boxu parogenerátorů a obrácení tlakového spádu mezi boxem a prostorem barbotéru, což způsobí zpětné vylití žlabů do šachty barbotéru. Toto pasívní sprchování způsobí další pokles tlaku v hermetických prostorách.

V režimu DiD 4 může systém XL přispívat ke zmírnění následků poruch použitelnou zásobou roztoku H_3BO_3 pro aktivní bezpečnostní systémy, kterou lze řízeně vypouštět na podlahu boxu a zajistit si tak objem média pro chlazení. Dále lze médium z barbotážních žlabů využít ke gravitačnímu plnění bazénu použitého jaderného paliva a otevřeného reaktoru. V těchto případech systém XL vyžaduje elektrické napájení drenážních armatur XL10S20-S31, které je provedeno ze 4. systému zajištěného napájení s možností podpory z diverzních a alternativních zdrojů.



Obr. 93. Funkční schéma vakuobarbotážního žlabu

6.2.4 Bezpečnostní požadavky na systém hermetické zóny

6.2.4.1 Bezpečnostní klasifikace a kvalifikace

Systém HZ patří mezi výkonné bezpečnostní systémy. Systém HZ se podílí na plnění základní bezpečnostní funkce „Izolace radioaktivních materiálů, stínění proti radiaci a řízení plánovaných radioaktivních výpustí jakož i omezení havarijních radioaktivních úniků.

Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. je systém HZ zařazený do BT2. Řídící, ovládací a napájecí obvody oddělovacích armatur, zajišťujících funkci izolace HZ od okolí, jsou zařazeny do rovněž do kategorie BT2. Systém HZ je dále zařazen do seznamu VZSN (vybrané zařízení speciálně navrhované) podle vyhlášky SÚJB č. 309/2005 Sb.

Pasivní prvky (obložení a stěny, poklopy, dveře a průchodky) včetně systému vakuobarbotážního systému XL jsou zařazeny do seismické kategorie 1b (viz kap. 6.1.4). Sprchový systém a oddělovací systém HZ (oddělovací armatury na hranici HZ) je zařazen do seismické kategorie 1a.

Kvalifikace na podmínky prostředí se odvíjí od umístění konkrétního zařízení. Sledovanými parametry jsou teplota a relativní vlhkost atmosféry, přetlak po havárii, dávkový příkon, výška hladiny vody na podlaze a výskyt sprchování.

6.2.4.2 Ochrana proti interním a externím hazardům

Z pohledu ochrany proti **interním hazardům** jsou systémy hermetické zóny chráněny proti:

- Vnitřním záplavám a tryskajícím médiím
- Vnitřním letícím předmětům, padajícím břemenům a švihům potrubí
- Vnitřnímu požáru

Externí rizika mají vliv především na stavební konstrukci hermetické obálky. Z pohledu ochrany proti **externím hazardům** hermetická obálka odolná proti seismicitě do úrovně SL 2, což odpovídá maximálnímu povrchovému zrychlení na úrovni terénu 0,1 g. TQ systém je umístěn ve stavebním objektu 800. Celý stavební objekt 800 musí být odolný vůči těmto externím rizikům až do úrovně odpovídající periodicitě výskytu jednou za 10 000 let. Jedná se hlavně o zatížení větrem, sněhem, extrémními teplotami, odolnost vůči vnějším tlakovým vlnám a pádu referenčního letadla.

6.2.4.3 Ochrana proti jednoduché poruše a poruše ze společné příčiny

Ochrana systému proti jednoduché poruše musí být řešena tak, aby pro jakoukoliv PIU, uvažovanou v projektu, byla splněna kritéria přijatelnosti i v případě vzniku libovolné dodatečné nezávislé jednoduché poruchy.

Při zohlednění tohoto požadavku je sprchový systém TQ řešen s redundancí 3 x 100%, tzn. je tvořen třemi nezávislými systémy (včetně nádrží, čerpadel, armatur a elektrického napájení). Při vzniku PIU se u jedné ze tří divizí aktivních BS předpokládá, že má jednoduchou poruchu, která nebyla zjištěna v rámci zkoušení provozuschopnosti BS (tzv. selhání na výzvu), druhá divize může být neúčinná z důvodu vyvolaného PIU a třetí divize pak plní bezpečnostní funkci.

V případě systému hermetické obálky, který zajišťuje izolaci od okolí (rychločinné armatury na trasách, penetrujících hermetickou obálku) je odolnost proti jednoduché poruše zajištěna zdvojením případně ztrojením armatur na jedné trase, přičemž každá z armatur ve dvojici je jednak fyzicky oddělena (stěnou hermetické obálky), jednak napájena z odlišných divizí bezpečnostních systémů. V případě jednoduché poruchy v jedné divizi je tedy izolační schopnost systému zajištěna druhou případně i třetí nezávislou divizí.

Vnitřní diverzita není u sprchového systému TQ systému explicitně vyžadována pro převažující rozsah PIU je však zabezpečena prostřednictvím pasivního systému sprchování, které je zajišťováno vakuobarbotážním systémem XL. Podle SSR-2/1 je

odolnost proti poruše ze společné příčiny explicitně vyžadována pouze pro systémy bezpečného odstavení reaktoru a dále pro bezpečnostní systémy založené na počítačových systémech.

6.2.4.4 Funkční a fyzická nezávislost jednotlivých divizí TQ systému

Bezpečnostním požadavkem je, aby 3 redundantní sprchové systémy TQ byly fyzicky i funkčně zcela nezávislé, umístěné v samostatných kobkách a kompletně oddělené jak po strojní tak po ovládací a elektronapájecí části. Systémy nesmí být řešeny jako technologicky propojené (z pohledu plnění bezpečnostních funkcí). Tento požadavek je uplatněn nejen na samotné výkonné bezpečnostní systémy, ale také ochranné a podpůrné systémy (napájení, SKŘ, chlazení). Silové elektrické napájení pohonů je provedeno z rozvoden zajištěného napájení II. kategorie, každý TQ systém je elektricky napájen z jiné rozvodny. Signály pro automatický start TQ systému jsou tvořeny v systému ESFAS, který je rovněž proveden s redundancí 3 x 100%. Každý signál je tvořen výběrem 2/3 a tím je systém chráněn před falešnými iniciačními signály

6.2.5 Hodnocení provozu systému hermetické zóny

6.2.5.1 Hlavní provedené modifikace za 30 let provozu

V průběhu provozu JE Dukovany byly na zařízené hermetické zóny provedeny modifikace, které převážně souvisí s vývojem požadavků na zvýšenou odolnost proti externím extrémním vlivům a z důvodu trvalého zvyšování spolehlivosti zařízení. Další část modifikací souvisí s pokračujícím pokrokem ve výzkumu těžkých havárií a požadované ochrany 4. bariéry, takže jsou postupně implementovány technické prostředky pro jejich komplexnější a spolehlivější zvládání. Dále jsou uvedeny pouze významné zásahy či modifikace:

- Rekonstrukce sacích jímek TQ v boxu parogenerátorů – důvodem je zvýšení jejich odolnosti proti případnému zanesení troskami a zbytky izolace potrubí při recirkulační fázi.
- Soubor opatření ke zvýšení seismické kvalifikace komponent a stavebních konstrukcí.
- Změna těsnícího programu na bezpečnostním systému – záměna původních těsnění za těsnění z expandovaného grafitu – zvýšení spolehlivosti těsněných spojů.
- Výměna ruských sprchových čerpadel TQ za nová Sigma Group z důvodu prodloužení životnosti a zvýšení spolehlivosti.
- Soubor opatření pro zajištění dostatečné zásoby vody a technických prostředků pro zalití reaktorové nádoby zvenčí v případě těžké havárie (In-Vessel retention).
- Doplnění rekombinátorů vodíku s dostatečnou kapacitou pro těžké havárie.
- Soubor doplněných měření parametrů v boxu parogenerátorů a barbotážních žlabech.

6.2.5.2 Spolehlivost systému

Systémy hermetické zóny mají pasivní a aktivní část. Zatímco pasivní část (hermetická obálka) plní svoji bezpečnostní funkci ve všech režimech provozu bloku (DiD 1 – 4), aktivní část (sprchový systém a oddělovací systémy) je v pohotovostním režimu. Pasivní systém barbotážních žlabů je rovněž v pohotovostním režimu. Skutečnou spolehlivost pasivních i aktivních částí systémů lze posoudit z vyžadovaných pravidelných testů a kontrol zařízení.

Stav systému hermetické zóny JE Dukovany je periodicky hodnocen formou „Health reportu“ (kap. 6.1.5.2). Celkové shrnutí výsledků hodnocení:

Fyzický stav

Celkový fyzický stav zařízení systému je na přijatelné úrovni. Za dobu dosavadního provozu systém spolehlivě plnil svoje funkce a nejsou indikovány žádné problémy, které by bránily bezpečnému provozu systému HZ po dobu minimálně dalších 10 let.

Udržovatelnost a zajištění údržby

Při zachování stávajícího rozsahu plánované údržby a zajištění dostatečného množství ND pro plánovanou údržbu lze systémy HZ nadále spolehlivě provozovat. Náhradní díly jsou dostupné v požadovaném množství a kvalitě. Doba opravy nelimituje plnění požadované výkonnosti zařízení, tj. nezbytný rozsah preventivní údržby a doba odstraňování poruch umožňuje dosáhnout požadované disponibility zařízení.

Bezpečnost

Bezpečnostní funkce zařízení jsou zaručeny a nejsou známy omezení, které by bránily provozu zařízení po dobu minimálně dalších 10 let.

6.2.5.3 Funkční zkoušky a kontroly

Kontroly a zkoušky těsnosti hermetické obálky

Provozní periodické integrální zkoušky těsnosti (PERIZ) hermetické obálky JE Dukovany představují soubor důležitých kontrolních a měřících operací, kterými se prokazuje, že těsnost HZ nebyla ovlivněna předchozím provozem natolik, aby byla považována za nevyhovující. Tyto zkoušky jsou realizovány v průběhu provozních odstávek pro výměnu paliva v intervalech, které jsou stanoveny SÚJB.

PERIZ mají za úkol zjistit skutečnou těsnost vnější hranice hermetické zóny vůči úniku vzduchu do okolí při zkušebním přetlaku a stanovit tzv. extrapolovaný únik, který se vztahuje na maximální havarijní přetlak v HZ v případě havárie JE s únikem chladiva. Zkoušky se provádí v zahermetizovaném stavu skutečným natlakováním zkoušených prostor.

Dle programu PERIZ je uvažováno s následujícím druhy provozních zkoušek těsnosti:

- Přetlaková a podtlaková kontrolní integrální zkouška za účelem vyhledávání netěsností vzniklých v průběhu provozu.
- Lokální zkoušky těsnosti jednotlivých hermetizačních zařízení za účelem stanovení jejich těsnosti po demontáži, opravách nebo odstranění závad.
- Zkoušky těsnosti poloobslužných prostorů a hermetických uzávěrů za účelem stanovení těsnosti vnitřní hranice HZ.
- Těsnostní integrální zkouška.
- Provozní pevnostní integrální zkouška. [12]

Kontroly a zkoušky vakuobarbotážního systému

Připravenost vakuobarbotážního systému plnit své bezpečnostní funkce se ověřuje periodicky následujícími zkouškami a kontrolami:

- Kontrola hladiny vody v barbotážních žlabu.
- Kontrola teploty vody v barbotážních žlabech.
- Kontrola koncentrace H_3BO_3 v doplňované vodě do barbotážních žlabů.
- Kontrola koncentrace H_3BO_3 vody barbotážních žlabů. Kontrola se provádí vyhodnocením vzorku odebraným přímo z barbotážního žlabu.
- Vizuální prohlídku barbotážního žlabu.
- Lokální zkoušku těsnosti dveří záchytných komor. Vyhovující výsledek je podmínkou k provedení zkoušky PERIZ.
- Kontrola zavření dveří záchytných plynojemů.
- Zkouška blokovacích a přepouštěcích zpětných klapek.
- Zkouška a kalibrace systémů měření hladiny a teploty v barbotážních žlabech.

Kontroly a zkoušky sprchového systém TQ

[12] Zkoušku byla provedena před uvedením JE Dukovany do provozu. Po desetiletém provozu JE Dukovany byla tato zkouška opakována na všech blocích s vyhovujícími výsledky. Na základě provozních zkušeností se předpokládá její další provedení jen v případě závažných zásahů do stavební konstrukce hermetické zóny nebo po vzniku mimořádné situace se závažným dopadem na stavební konstrukci hermetické zóny.

Základní metody provozních kontrol jsou následující:
- Vizuální kontrola.
- Kapilární kontrola metodou barevné defektoskopie.
- Kontrola prozářením.
- Měření korozních úbytků.
- Tlakové a těsnostní zkoušky vodním přetlakem.
- Diagnostická kontrola točivých strojů.
- Kontrola korozního stavu.

Mimo to se periodicky ověřuje připravenost sprchového systému plnit své bezpečnostní funkce dle následujícího seznamu kontrol a zkoušek:
- Kontrola připravenosti sprchového systému (ověření správného nastavení RČA a elektroarmatur, kontrola úrovně hladiny v nádržích TH a TQ).
- Kontrola chodu sprchového čerpadla na recirkulaci.
- Chod sprchového čerpadla společně s automatikami zajištěného napájení II a dieselgenerátoru.
- Kontrola průchodnosti signálů od ESFAS na akční členy sprchového systému.
- Kontrola průchodnosti sprchových trysek.
- Kontrola čistoty sacích jímek v boxu parogenerátorů.
- Provádění zkoušek ochran a blokád včetně signalizací.
- Periodická kontrola stavu strojního zařízení a SKŘ.
- Kontrola kvality roztoku H_3BO_3 odběrem vzorků.

Výsledky provozních zkoušek a kontrol jsou po jejich provedení vyhodnoceny a jejich vyhovující výsledek je podmínkou dalšího provozu systému. V případě zkoušek, prováděných po ukončení odstávky pro výměnu paliva je jejich vyhovující výsledek součástí průkazu připravenosti pro povolení náběhu bloku. V případě provozních zkoušek a testů, které jsou prováděny v průběhu normálního provozu, musí být výsledek úspěšný, jinak vede k identifikaci neshody a nutnosti provést nápravná opatření. Tato skutečnost se promítne do hodnocení spolehlivosti systému dle kap. 6.2.5.2.

6.2.6 Připravenost systému hermetické zóny na další provoz

6.2.6.1 Hermetická obálka

Hermetická obálka je nevyměnitelný systém a je třeba věnovat pozornost jeho stavu a působícím degradačním mechanismům prostřednictvím programu řízení životnosti. Dlouhodobé stárnutí železobetonových konstrukcí je celosvětový problém, proto je zde na místě sledovat pokrok vědy a výzkumu v této oblasti a jeho výsledky řízeným způsobem implementovat do programu řízení životnosti hermetické obálky.

Celkový stav zařízení systému je na dobré úrovni a nevykazuje žádné známky zhoršení. Plní svoje provozní i bezpečnostní funkce a nejsou indikovány žádné problémy, které by bránily bezpečnému provozu.

6.2.6.2 Vakuobarbotážní systém

Vakuobarbotážní systém je nevyměnitelná resp. obtížně vyměnitelná součást elektrárny a je třeba i nadále sledovat jeho životnosti ve stávajícím rozsahu. Systém je pasivní a provozem nedochází k jeho opotřebení. Rovněž nedochází k únavě použitých materiálů. V úvahu zde připadá pouze koroze, jejíž průběžné sledování je určující pro stanovení zbytkové životnosti či nutnosti výměny částí barbotážního systému např. těsnění hermetických dveří apod. Zbytková životnost tak činí téměř 100 % a je dostatečná do konce života elektrárny.

6.2.6.3 Sprchový systém

Sprchový systém je aktivní, přičemž většina komponent je vyměnitelná v rámci údržby elektrárny. Při zachování stávajícího rozsahu provozních kontrol, zkoušek a údržby (včetně výměny a modifikací zařízení) jej lze bezpečně provozovat po neomezenou dobu.

6.2.6.4 Závěr

V průběhu dosavadního provozu hermetického systému se nevyskytly poruchy, které by znemožnily plnění bezpečnostních funkcí, stanovených pro tento systém. Za předpokladu stávajícího rozsahu řízení dopadů stárnutí, doplněného o sledování pokroku v oblasti výzkumu degradačních mechanizmů podle zobecněné světové praxe, je systém hermetické obálky schopen dalšího bezpečného a spolehlivého provozu. Hermetický systém je zahrnut v trvalém systému hodnocení životnosti pomocí „Health Reportů“, které jsou předány státnímu dozoru jako součást Průkazu připravenosti zařízení.

Hodnocení spolehlivosti bezpečnostního systému je svým charakterem úzce spojeno s pravděpodobnostním hodnocením provozu JE Dukovany. Z mezinárodních požadavků a doporučení vyplývá, že pro stávající provozované bloky je cílem dosažení pravděpodobnosti frekvence těžkého poškození aktivní zóny reaktoru menší než 10^{-4} událostí/rok. Z pravděpodobnostního modelu EDU vychází, že pravděpodobnost poškození aktivní zóny (CDF) pro vnitřní události je rovna 8,54 x 10^{-6}/rok (pro blok 1 na konci roku 2014). Z výše uvedeného plyne, že ***uvedené mezinárodní doporučení jaderná elektrárna Dukovany splňuje.***

6.3 Systémy havarijního chlazení aktivní zóny

6.3.1 Účel systému chlazení aktivní zóny

Systémem chlazení aktivní zóny se rozumí aktivní a pasivní prostředky, které slouží k udržení objemu chladiva v primárním okruhu při všech haváriích, ve kterých dochází k jeho ztrátě mimo okruh. Systém chlazení AZ se skládá z nízkotlakého (TH) a vysokotlakého (TJ) systému doplňování chladiva (aktivní část) a z hydroakumulátorů (TH - pasivní část). Z pohledu jaderné a radiační bezpečnosti slouží k ochraně druhé bariéry proti šíření RA látek do životního prostředí.

Systémy plní první a druhou základní bezpečnostní funkci, tedy „Řízení reaktivity“ a „Odvod tepla z reaktoru a ze skladů použitého paliva“.

První základní bezpečnostní funkce je zajištěna složením doplňovaného média (roztok kyseliny borité o koncentraci 40 g/kg v TJ systému nebo 12 g/kg v aktivní i pasivní části TH systému), přičemž tato funkce je diverzní k funkci mechanického řízení reaktivity prostřednictvím kazet HRK. Prakticky tedy slouží k zajištění dostatečné podkritičnosti aktivní zóny reaktoru v podmínkách havarijních režimů (DiD 3).

Druhá základní bezpečnostní funkce je zajištěna dodávkou dostatečného množství přídavného chladiva do systému primárního okruhu, přičemž základním kritériem pro její zajištění je udržení takového množství chladiva v systému, aby aktivní zóna zůstala trvale zaplavena a cirkulací mohlo být odváděno zbytkové teplo buď do parogenerátoru (v případě malých úniků), nebo přímo do cirkulačního oběhu bezpečnostního systému (v případě velkých úniků).

V případě jejich selhání je předpoklad přechodu režimu bloku do těžké havárie (DiD 4), přičemž v takové situaci je obnovení jejich provozu jedním ze strategických postupů při řešení události.

V úrovni DiD 1 a DiD 2 tyto systémy žádnou funkci neplní.

6.3.2 Koncepce projektového řešení systému chlazení aktivní zóny

Systém chlazení aktivní zóny patří mezi výkonné bezpečnostní systémy (kap. 6.1.2). Aktivní část systému chlazení aktivní zóny je třídivizní (3 x 100%). Každou divizi tvoří soubor tří podsystémů – vysokotlaký, nízkotlaký a sprchový (který je součástí ochrany hermetické zóny a je popsán v kap. 6.2), které jsou dohromady technologicky propojeny a jejich funkce na sebe navazují. Aktivní prvky každé divize jsou napájeny ze samostatné sekce zajištěného napájení II. kategorie (sekce 6 kV a 0,4 kV) a jejich aktivace je zajištěna systémem ESFAS, který má rovněž třídivizní charakter. Všechny aktivní prvky systému

chlazení aktivní zóny rovněž umožňují ruční ovládání z blokové a nouzové dozorny. Koncepčně jsou tedy divize řešeny jako ucelený soubor technologie, elektrického napájení, automatik a systému kontroly a řízení, pro jejichž projekt a konstrukci jsou využity zásady dle kap. 6.1.4.

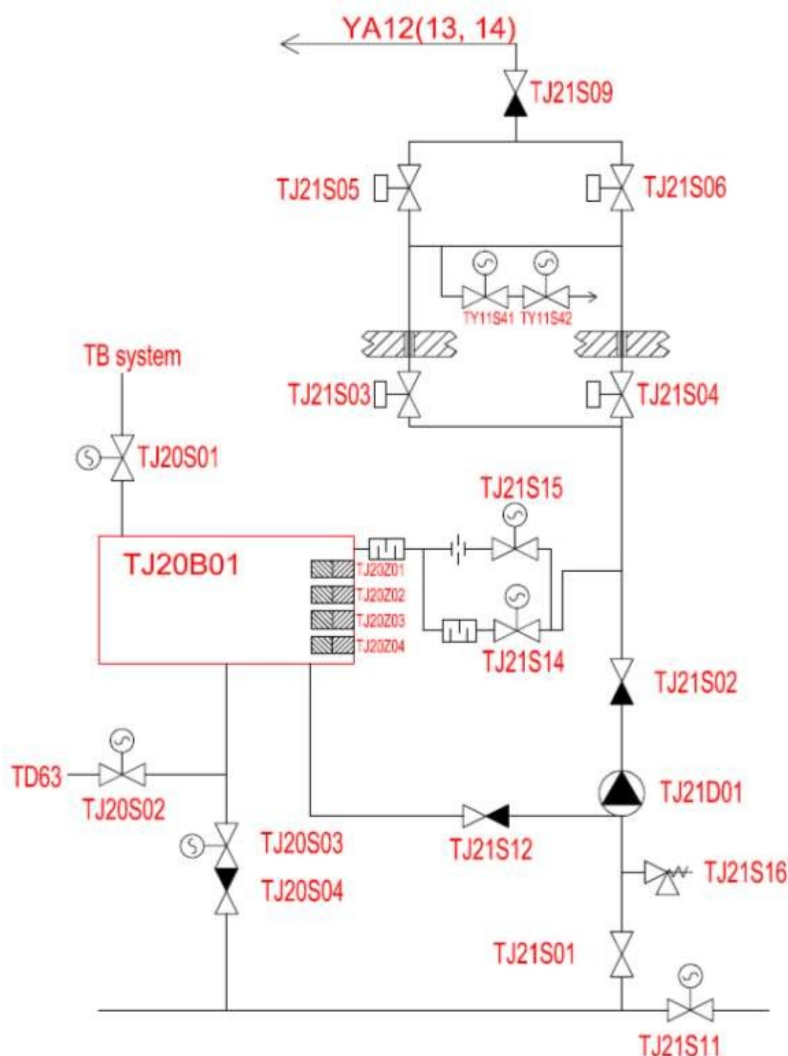
Pasivní část systému chlazení aktivní zóny je dvoudivizní (2 x 100%) a tvoří ji dvě dvojice hydroakumulátorů, což jsou tlakové zásobníky přídavného chladiva, za normálního provozu oddělené od reaktoru pouze mechanickými zpětnými klapkami.

6.3.2.1 Vysokotlaký vstřikovací systém

Vysokotlaký vstřikovací systém TJ je koncipován jako aktivní s pracovním tlakem čerpadla cca 14 MPa. Slouží pro vysokotlaké doplňování chladiva primárního okruhu roztokem kyseliny borité o koncentraci 40 g/kg. Obnovuje tedy množství teplonosného média primárního okruhu při havárii typu LOCA (primární únik) nebo velkého sekundárního parního úniku, který by byl spojen s rychlým vychlazením primárního okruhu a teplotním zmenšením objemu jeho chladiva. Vysoká koncentrace bóru v doplňovaném médiu slouží jako diverzní systém pro řízení reaktivity, neboť činností tohoto systému se v havarijních přechodových procesech zvýší jeho koncentrace z provozních hodnot cca 0 – 4 g/kg. Tím dojde k zajištění bezpečné podkritičnosti aktivní zóny i v případech vychlazování primárního okruhu a reaktor je tak udržen v bezpečném stavu.

Každá divize systému TJ se skládá z vysokotlakého odstředivého čerpadla, které saje provozní médium ze samostatné nádrže TJ a je napájeno ze sekce ZN II kategorie 6 kV. Čerpadlo je sáním připojeno k samostatné nádrži TJ, přičemž po vyčerpání objemu této nádrže je sání automaticky přepojeno na příslušnou nádrž TH případně dále na sání z podlahy HZ. Výtlak čerpadel je zdvojený (dvě paralelní větve) a každá větev je osazena sériovou dvojicí rychločinných pneumatických armatur, které otevírají automaticky povelem od signálu ESFAS. Výtlačné trasy čerpadel jsou zaústěny do neoddělitelných částí studených cirkulačních smyček primárního okruhu.

Nádrž systému TJ je vybavena elektroohříváky pro udržení teploty média v rozmezí 55 – 60°C proto, aby v případě aktivace systému a vstřiku média do primárního okruhu nedošlo k tlakově teplotnímu (tzv. PT) šoku kovu tlakové nádoby reaktoru (TNR).



Obr. 94. Vysokotlaký vstřikovací systém TJ – zjednodušené schéma 1. divize

Legenda – hlavní komponenty:

TJ21D01 – vysokotlaké vstřikovací čerpadlo

TJ20B01 – zásobní nádrž roztoku H3BO3 (40 g/kg)

TJ21S03, 04, 05, 06 – výtlačné vzduchem ovládané rychločinné armatury

TJ21S11 – armatura propojení na sání z nádrže TH (otevírá při vyčerpání nádrže TJ)

TJ20S03 – sací armatura z nádrže TJ (uzavírá při otevření TJ21S11 - sání z nádrže TH)

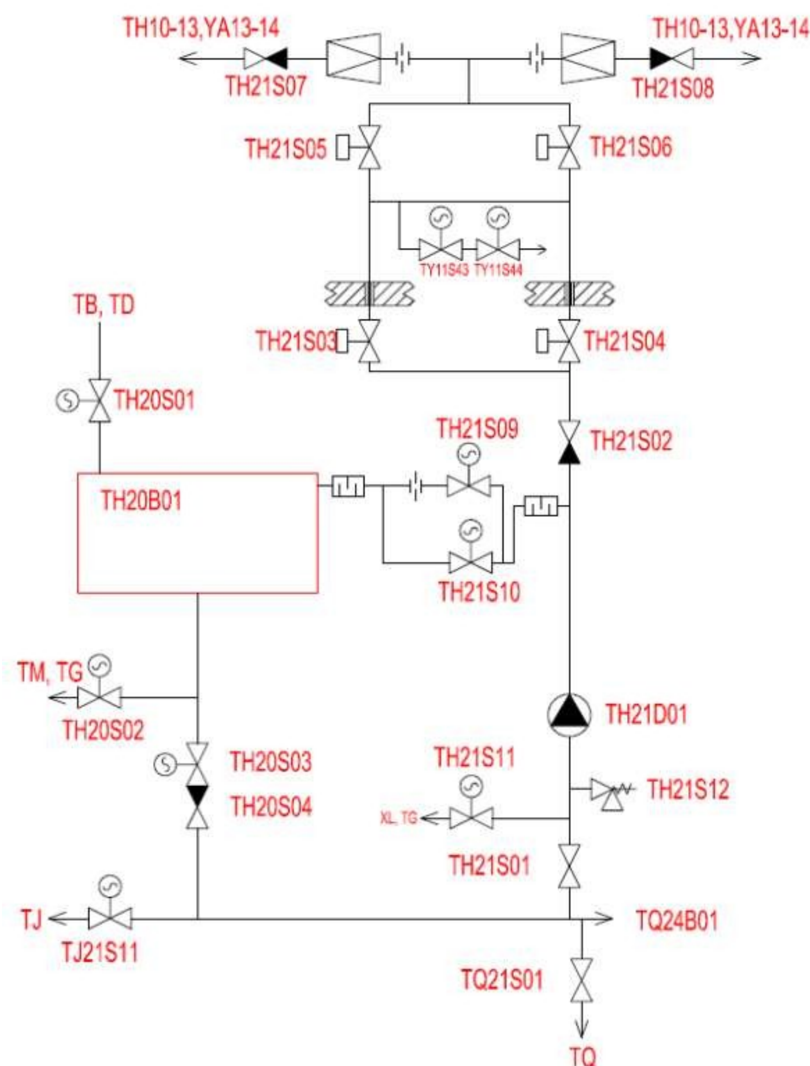
TJ20Z01, 02, 03, 04 – elektroohříváky nádrže TJ (zabránění PT šoku TNR)

6.3.2.2 Nízkotlaký vstřikovací systém

Nízkotlaký vstřikovací systém TH je koncipován jako aktivní s pracovním tlakem čerpadla cca 0,7 MPa. Slouží pro nízkotlaké doplňování primárního okruhu roztokem kyseliny borité o koncentraci 12 g/kg. Slouží k zajištění obnovení objemu a cirkulace média v primárním okruhu při havárii typu velká LOCA až do maximální projektové havárie, tedy roztržení hlavní cirkulační smyčky gilotinovým řezem. Koncentrace bóru v doplňovaném médiu je na úrovni, převyšující odstavnou koncentraci pro studený reaktor, a zajišťuje tak dlouhodobou podkritičnost aktivní zóny v režimu pohavarijní cirkulace.

Každá divize systému TH se skládá z nízkotlakého odstředivého čerpadla, které saje provozní médium ze samostatné nádrže TH a je napájeno ze sekce ZN II kategorie 0,4 kV. Čerpadlo je sáním připojeno na příslušnou nádrž TH, přičemž po vyčerpání jejího objemu je sání automaticky přepojeno na sání z podlahy boxu parogenerátorů (společně se sprchovým systémem TQ a vysokotlakým systémem TJ) a odvod tepla je zajištěn chlazením média na výměníku sprchového systému TQ. Výtlak čerpadel je zdvojený (dvě paralelní větve) a každá větev je osazena dvojicí sériově řazených rychločinných pneumatických armatur, které otevírají automaticky povelem od signálu ESFAS. Výtlačné trasy čerpadel jsou zaústěny přímo do tlakové nádoby reaktoru stejnými trasami jako hydroakumulátory, v případě systému TH40 pak do studené i horké neoddělitelné části smyčky 4.

Nádrž systému TH není vybavena elektroohříváky, neboť závěrný tlak čerpadel TH není schopen vyvolat podmínky tlakově teplotního šoku kovu TNR.



Obr. 95. Nízkotlaký vstřikovací systém TH – zjednodušené schéma 1. divize

Legenda – hlavní komponenty:

TH21D01 – nízkotlaké vstřikovací čerpadlo

TH20B01 – zásobní nádrž roztoku H_3BO_3 (12 g/kg)

TH21S03, 04, 05, 06 – výtlačné vzduchem ovládané rychločinné armatury

TJ21S11 – armatura TJ propojení na sání z nádrže TH

TQ24B01 – trasa sání ze sací jímky podlahy boxu parogenerátorů

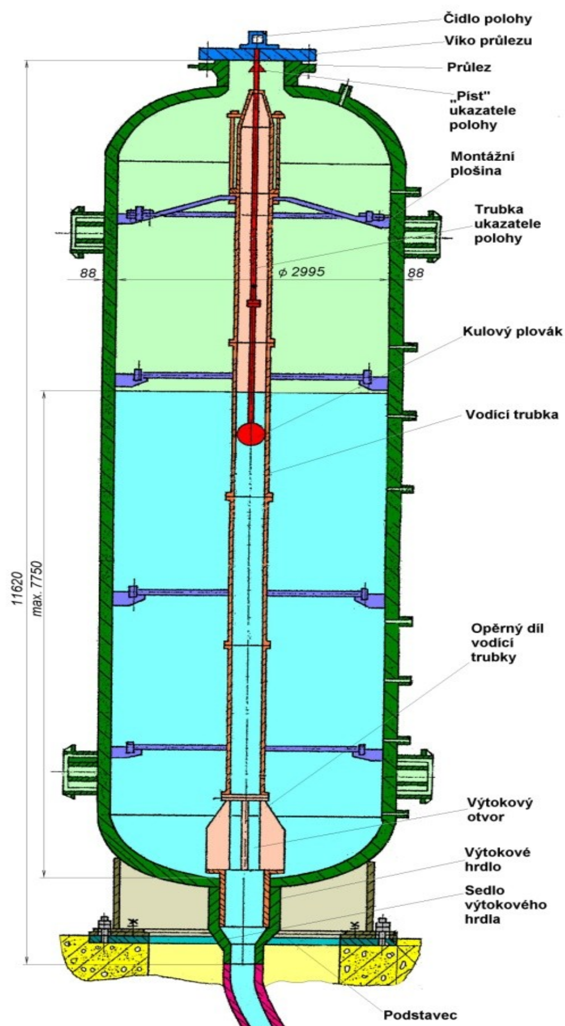
TH20S03 – sací armatura z nádrže TH

6.3.2.3 Hydroakumulátory

Hydroakumulátory jsou koncipovány jako diverzní systém k systémům vysokotlakého a nízkotlakého doplňování a zajišťují přívod roztoku kyseliny borité s koncentrací 12 g/kg jak pod, tak i nad aktivní zónu reaktoru. Jedná se o pasivní systém, který v průběhu výkonu své bezpečnostní funkce nevyžaduje dodávku energie. Systém je tvořen dvěma identickými podsystémy. Podsystém obsahuje dva tlakové zásobníky havarijního chlazení aktivní zóny a spojovací potrubí. Každý tlakový zásobník je napojen na vlastní nátrubek reaktoru v uspořádání jeden HA pod aktivní zónu a jeden nad aktivní zónu.

Hnacím plynem pro vytlačení média do reaktoru je stlačený dusík. Na výstupu každého hydroakumulátoru je sériově řazená dvojice zpětných klapek pro zamezení zpětného průtoku z reaktoru do hydroakumulátoru a oddělovací elektroarmatura, která slouží pouze k oddělení hydroakumulátoru v případě řízeného přechodu bloku do odstaveného, vychlazeného a odtlakovaného stavu.

Hydroakumulátory pracují samovolně pouze na základě rozdílu tlaku mezi reaktorem a hydroakumulátorem. Pokud dojde k takovým havarijním podmínkám, kdy tlak v primárním okruhu (v normálním provozu cca 12,3 MPa) poklesne pod tlak v tlakových zásobnících (udržovaný na úrovni cca 3,5 MPa), začíná samovolné vylití energií hnacího plynu. Pro zamezení vniku hnacího plynu do reaktoru po úplném vylití hydroakumulátoru je uvnitř osazen plovákový uzávěr, který utěsní výstupní hrdlo po úplném vyprázdnění.



Obr. 96. Hydroakumulátor

6.3.3 Provozní režimy systému chlazení aktivní zóny

Systém chlazení aktivní zóny je projektově navržen jako **bezpečnostní systém** na řešení havárií úrovně DiD 3. V úrovních DiD 1 a DiD 2 je provozován pouze v pohotovostním režimu a pro zajištění jeho spolehlivosti je na něm vykonávána řada kontrol a testů. Jeho možnostem použití pro úroveň DiD 4 je věnována část samostatné kapitoly 19.

6.3.3.1 Technologické provozní režimy

Pro iniciaci úrovně DiD 3 a zahájení činnosti aktivní části systému chlazení aktivní zóny a sprchového systému je použito několik základních diverzních parametrů:

- Pokles hladiny v kompenzátoru objemu
- Pokles tlaku v primárním okruhu
- Nárůst přetlaku v hermetické zóně

Při iniciační události dochází od těchto a dalších diverzních parametrů nejprve k odstavení reaktoru systémem RTS, který má meze zapůsobení (tzv. setpointy) nastaveny tak, aby odstavení reaktoru vždy předcházelo aktivaci bezpečnostních systémů. Celá činnost systému chlazení aktivní zóny a sprchového systému tak probíhá při **odstaveném reaktoru**.

Sledování těchto parametrů pokrývá všechny PIU, spojené s havarijními úniky média z primárního okruhu, způsobené poškozením tlakového celku s vysokoenergetickým médiem. Druhou skupinou PIU jsou havarijní úniky sekundární páry uvnitř hermetické zóny, které vedou k rychlému vychlazování primárního okruhu a smršťování objemu primárního média, které se projeví poklesem hladiny v kompenzátoru objemu a přetlakem v hermetické zóně.

Unikající médium je vždy shromažďováno na podlaze boxu parogenerátorů a po vyčerpání nádrží systémů havarijního doplňování je k dispozici pro recirkulační fázi činnosti systémů. Po vyčerpání nádrží vysokotlakého systému je od poklesu jejich hladiny iniciován signál na přechod sání čerpadel TJ na velkoobjemové nádrže systému TH, po jejich vyčerpání je pak iniciován přechod na sání ze sacích jímek na podlaze boxu parogenerátorů, nasávané médium je chlazeno na výměníku sprchového systému a dlouhodobá recirkulační fáze je tímto zahájena.

Technologická činnost systémů chlazení aktivní zóny je sekvenční a je závislá na velikosti úniku. Pro malé úniky, při kterých je ustálená kombinace průtoku unikajícího a doplňovaného média a na ní závislém tlaku v primárním okruhu nad závěrným tlakem nízkotlakého systému, je primární okruh doplňován pouze činností vysokotlakého systému a při tlakovém rozmezí 0,7 – 3,7 MPa i činností hydroakumulátorů. V primárním okruhu je tak dostatek chladiva a zbytkové teplo aktivní zóny je odváděno do systému havarijního odvodu tepla z primárního okruhu (kap. 6.9), jednak únikem do hermetické zóny a odtud prací sprchových čerpadel a recirkulační fází. Pokud dojde k selhání odvodu tepla do sekundárního okruhu, prací vysokotlakých čerpadel je možno zaplnit celý primární okruh včetně kompenzátoru objemu a odvod tepla je zajištěn přes odlehčovací ventil kompenzátoru do hermetické zóny a odtud opět prací sprchových čerpadel a recirkulační fází. Tak je zajištěno dostatečné podchlazení primárního chladiva na výstupu z aktivní zóny a chráněna druhá bariéra proti úniku RA látek.

V případě velkých úniků z primárního okruhu, ať už způsobených vlastní iniciační událostí nebo rozvojem malého úniku, kdy je ustálená kombinace průtoku unikajícího a doplňovaného média pod závěrným tlakem nízkotlakého systému přechází doplňování na velký průtok nízkotlakého systému. Odvod zbytkového tepla z aktivní zóny je zajištěn činností nízkotlakého systému TH, v první fázi doplňováním studené bórované vody do reaktoru, v recirkulační fázi pak výměníkem sprchového systému, který je chlazen technickou vodou důležitou. Ta je pak chlazena na koncovém jímači tepla. V těchto situacích jsou v činnosti i čerpadla TJ a jejich prací je do okruhu dodáván roztok s vysokou koncentrací kyseliny borité, čímž je dále zvyšována podkritičnost aktivní zóny.

6.3.3.2 Provozní režimy systémů elektrického napájení

Aktivní prvky systémů vysokotlakého, nízkotlakého i sprchového systému jsou napájeny z odpovídajících divizí zajištěného napájení II kategorie. Během provozu systémů v pohotovostním i havarijním režimu jsou jednotlivé sekce 6 kV i 0,4 kV napájeny z pracovního napájení. Pokud v průběhu normálního provozu nebo havarijní události dojde ke ztrátě napětí na příslušné sekci zajištěného napájení, je tato od pracovního přívodu automaticky odpojena. Při ztrátě napětí jsou rovněž odpojeny velké pohony čerpadel. Ztrátou napětí je iniciován start dieselgenerátoru a po jeho náběhu je spuštěna automatika postupného spouštění (ELS). Jednotlivá čerpadla jsou pak opětovně v definované sekvenci připojována na elektrické napájení tak, aby nedošlo k přetížení dieselgenerátoru. Po přechodu napájení na zajištěný zdroj čerpadla dále pokračují v plnění bezpečnostní funkce.

6.3.4 Bezpečnostní požadavky na systém chlazení aktivní zóny

6.3.4.1 Bezpečnostní klasifikace a kvalifikace

Systém chlazení aktivní zóny patří mezi výkonné aktivní bezpečnostní systémy, které po iniciaci systémem ESFAS provádějí příslušné bezpečnostní funkce. Jsou klasifikovány

jako systémy BT 2 (kap. 6.1.2). Stejně jsou klasifikovány i řídící, ovládací a napájecí obvody. Zařízení systému technické vody důležité a vzduchotechnických systému pro zajištění okolního prostředí jsou zařazeny do BT3.

TJ a TH čerpadla a výtlačné trasy TJ a TH systému jsou dále zařazené do seznamu VZSN (vybrané zařízení speciálně navrhované) podle vyhlášky SÚJB č. 309/2005 Sb.

Systém hydroakumulátorů patří mezi výkonné pasivní bezpečnostní systémy, které pro iniciaci své bezpečnostní funkce nevyžadují zásah ochranných a řídicích systémů a v průběhu plnění bezpečnostní funkce nevyžadují podporu ostatních systémů.

Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. je systém hydroakumulátorů zařazený do BT2 a BT1 (části, neoddělitelné od reaktoru). Tlakové zásobníky Systému hydroakumulátorů jsou dále zařazené do seznamu VZSN podle vyhlášky SÚJB č. 309/2005 Sb. Systém chlazení aktivní zóny je zařazen do seismické kategorie 1a.

Kvalifikace na podmínky prostředí se odvíjí od umístění konkrétního zařízení. Sledovanými parametry jsou teplota a relativní vlhkost atmosféry, přetlak po havárii, dávkový příkon, výška hladiny vody na podlaze a výskyt sprchování.

6.3.4.2 Ochrana proti interním a externím hazardům

Z pohledu ochrany proti **interním hazardům** jsou systémy chlazení aktivní zóny chráněny proti (viz kap. 6.1.4.4):

- Vnitřním záplavám a tryskajícím médiím
- Vnitřním letícím předmětům, padajícím břemenům a švihům potrubí
- Vnitřnímu požáru

Systém chlazení aktivní zóny musí být seizmicky odolný do úrovně SL 2, což odpovídá maximálnímu povrchovému zrychlení na úrovni terénu 0,1 g vztaženému ke spektru odezvy na podlažích, kde je zařízení systému fyzicky umístěné (-6,5 m, 0 m).

Co se týká odolnosti vůči ostatním externím rizikům, jsou systémy umístěn ve stavebním objektu 800. SO 800 musí být odolný vůči těmto externím rizikům až do úrovně odpovídající periodicitě výskytu jednou za 10 000 let. Jedná se hlavně o zatížení větrem, sněhem, extrémními teplotami, odolnost vůči vnějším tlakovým vlnám a pádu referenčního letadla.

6.3.4.3 Ochrana proti jednoduché poruše a poruše ze společné příčiny

Bezpečnostní systémy chlazení aktivní zóny musí být řešeny tak, aby pro jakoukoliv PIU uvažovanou v projektu byla splněna kritéria přijatelnosti i v případě vzniku libovolné dodatečné nezávislé jednoduché poruchy.

Pro zohlednění tohoto požadavku je systém chlazení aktivní zóny řešen s redundancí 3 x 100%, tzn. že je tvořen třemi nezávislými systémy (včetně nádrží, čerpadel, armatur a elektrického napájení). Tento přístup zajišťuje splnění požadovaných BF i při uvažování libovolné jednoduché poruchy na jednom systému. Výtlak každého TJ a TH čerpadla je navíc zdvojený ve výtlačných pneumatických rychločinných armaturách pro minimalizaci rizika neotevření jednoho akčního členu, protože zejména rychločinné armatury v boxu parogenerátorů nemohou být v průběhu kampaně fyzicky kontrolovány (neobslužný prostor). Toto zapojení koresponduje s celkovým projektem havarijních systémů včetně pasivních hydroakumulátorů a nízkotlakých havarijních čerpadel a také se způsobem připojení kompenzátoru objemu na 1. respektive 6. cirkulační smyčce.

Zaústění systémů do primárního okruhu je rozloženo tak, aby v případě LOCA a následné činnosti systému maximálně jeden systém pracoval do vzniklé trhliny a neměl tak dostatečnou účinnost pro chlazení aktivní zóny reaktoru. I v tomto případě však trhlinou uniklé chladivo z bezpečnostního systému zůstává součástí celkového objemu média pro chlazení. Dalším požadavkem pro zapojení bezpečnostních systémů je prioritní zachování směru proudění chladicího média od bezpečnostních systémů od spodu tlakové nádoby přes aktivní zónu směrem vzhůru, což napomáhá účinnosti odvodu tepla z aktivní

zóny. Rovněž tento požadavek je v konstrukčním řešení bezpečnostních systémů JE Dukovany a jejich návaznosti na chlazení aktivní zóny dodržen.

Při vzniku PIU se u jedné ze tří divizí aktivních bezpečnostních systémů předpokládá, že má jednoduchou poruchu, která nebyla zjištěna v rámci zkoušení provozuschopnosti tohoto systému (tzv. selhání na výzvu), funkce druhé divize může být za určitých specifických podmínek neúčinná z důvodu vyvolaného samotnou PIU (viz předchozí odstavec) a třetí divize pak plní beze zbytku bezpečnostní funkci.

V režimech funkčních zkoušek, kdy čerpadla bezpečnostního systému nedodávají roztok kyseliny borité přímo do primárního okruhu, musí být v případě výskytu mimořádné situace zajištěn automatický přechod čerpadel bezpečnostních systémů do hlavních výtlačných tras a tím zajištěno plnění bezpečnostních funkcí.

Vnitřní diverzita z důvodu ochrany proti poruše ze společné příčiny není u bezpečnostního systému chlazení aktivní zóny vyžadována (IAEA SSR-2/1). Přiměřená míra vnitřní diverzity je zajištěna spouštěním systémů od diverzních signálů založených na odlišných parametrech a měřících obvodech (např. tlak v primárním okruhu a hladina v kompenzátoru objemu).

Všechny tři divize bezpečnostních systémů chlazení aktivní zóny jsou téměř identické. Tento přístup nechrání systém před poruchou ze společné příčiny a tato ochrana je nahrazena organizačními opatřeními, kdy se po vzniku poruchy na některé komponentě provede na ostatních systémech kontrola stavu a funkčnosti stejné komponenty. V případě dlouhodobé neprovozuschopnosti některé divize bezpečnostního systému chlazení aktivní zóny je další provoz bloku zakázán.

Iniciace systému je zajišťovaná prostřednictvím řídicího systému ESFAS. Počítačový systém ESFAS kritérium odolnosti proti poruše ze společné příčiny splňuje (viz kap. Error: Reference source not found).

6.3.4.4 Funkční a fyzická nezávislost jednotlivých divizí systému

Bezpečnostním požadavkem je, aby 3 redundantní bezpečnostní systémy byly fyzicky i funkčně zcela nezávislé, umístěné v samostatných kobkách a kompletně oddělené jak po strojní tak po ovládací a elektronapájecí části. Systémy nesmějí být řešeny jako technologicky propojené (z pohledu plnění bezpečnostních funkcí). Tento požadavek se uplatňuje nejen na samotné výkonné bezpečnostní systémy, ale také pro ochranné a podpůrné systémy (napájení, SKŘ, chlazení). Silové elektrické napájení pohonů je provedeno z rozvoden zajištěného napájení II. kategorie, každý bezpečnostní systém chlazení aktivní zóny je elektricky napájen z jiné rozvodny. Signály pro automatický start TJ systému jsou tvořeny v systému ESFAS, který je rovněž proveden s redundancí 3 x 100%. Každý signál je tvořen výběrem 2/3 a tím je systém chráněn před falešnými iniciačními signály.

Mezi další požadavky na systémy zařazené do úrovně DiD 3 patří požadavek na funkční a fyzické oddělení od systémů 1. a 2. úrovně (systémy bez vlivu na bezpečnost, popř. systémy s bezpečností související). Po strojní stránce jsou jednotlivé bezpečnostní systémy zcela nezávislé.

Podpůrné systémy pro přípravu roztoku kyseliny borité a čistící stanice roztoku kyseliny borité nejsou pro provoz bezpečnostního systému nezbytné, a pokud by byly v okamžiku zahájení činnosti bezpečnostního systému v provozu, dochází k jejich automatickému odpojení. Tím je zabráněno možnosti zavlečení nesouvisející poruchy do systému úrovně DiD 3.

V elektro části dochází v případě ztráty elektrického napájení vlastní spotřeby k oddělení příslušné sekce zajištěného napájení II. kategorie a startu DG včetně příslušného TJ a TH čerpadla od signálu ELS.

6.3.5 Hodnocení provozu systému chlazení aktivní zóny

6.3.5.1 Hlavní provedené modifikace za 30 let provozu

V průběhu provozu JE Dukovany nebyly na systému provedeny žádné modifikace, které by měnily původní projektovou logiku funkce systému. Důvodem pro modifikace bylo především trvalé zvyšování spolehlivosti systému. Dále byly použity nové poznatky aplikovaného a průmyslového výzkumu, takže některé součásti či komponenty byly vyměněny za nové s pokročilejší funkcí. Dále jsou uvedeny pouze významné zásahy či modifikace.

- Záměnu motorů vysokotlakých čerpadel TJ původní ruské konstrukce za nové motory Siemens Drásov – zlepšení spolehlivosti a parametrů prostředí, ve kterém jsou motory instalovány.
- Doplnění elektroohříváků do nádrží vysokotlakého systému TJ z důvodu zamezení vzniku tlakově teplotního šoku tlakové nádoby reaktoru při činnosti TJ čerpadel.
- Záměna pružinových závěsů potrubí bez možnosti kontroly předepnutí za nové s ukazatelem předepnutí.
- Změna těsnícího programu na bezpečnostním systému – záměna původních těsnění za těsnění z expandovaného grafitu – zvýšení spolehlivosti těsněných spojů.
- Výměna ucpávek čerpadel TH za nový typ, který nevyžaduje přídavné chlazení vloženým okruhem.
- Výměna části servopohonů za účelem zvýšení provozní spolehlivosti.
- Změna ovládání oddělovacích armatur hydroakumulátorů z důvodu zlepšení možnosti ovládání těchto armatur při řešení poruchových stavů.
- Snížení tlaku v hydroakumulátorech z důvodu optimalizace přechodových jevů při události úrovně DiD 3.

6.3.5.2 Spolehlivost a životnost systému

Systém chlazení aktivní zóny má aktivní a pasivní část. Jak aktivní tak pasivní část je během provozu bloku v pohotovostním režimu a jejich schopnost vykonávat bezpečnostní funkci v úrovni DiD 3 je posuzována prostřednictvím kontrol a testů. Jejich stav je pak hodnocen prostřednictvím „Health reportů“ (kap. 6.1.5.2). Na jednotlivé komponenty systému jsou aplikovány programy řízeného stárnutí a programy sledování životnosti. Tyto programy jsou aplikovány na armatury a potrubí. Celkové shrnutí výsledků hodnocení životnosti svědčí o tom, že životnost zařízení je prakticky v úrovni zařízení nového (jedná se o systémy, které jsou v trvalé pohotovosti, avšak mimo provozní funkci) a degradace je na hranici měřitelnosti, tedy téměř 0%. Pro bezpečný stav se připouští čerpání životnosti do výše 40%.

6.3.5.3 Funkční zkoušky a kontroly

Připravenost systému k uvedení do provozu v případě výskytu havarijní situace se musí ověřovat zkouškami a kontrolami. Základními metodami provozních kontrol jsou:

- vizuální kontrola
- kapilární kontrola metodou barevné defektoskopie
- kontrola prozářením
- měření korozních úbytků
- tlakové a těsnostní zkoušky vodním přetlakem
- diagnostická kontrola točivých strojů

Mimo to se periodicky ověřuje připravenost systému chlazení aktivní zóny plnit své bezpečnostní funkce prostřednictvím následujících kontrol a zkoušek:

- Kontrola připravenosti systému chlazení aktivní zóny. Kontrola zahrnuje ověření správného nastavení RČA a elektroarmatur a kontrolu úrovně hladiny v nádržích TJ, TH.
- Kontrola chodu čerpadel na zkušební recirkulaci po dobu alespoň jedné hodiny. Součástí kontroly je ověření polohy ručních armatur na sání zkoušených čerpadel včetně kontroly jejich zabezpečení proti neoprávněné manipulaci a kontrola koncentrace H_3BO_3 v nádržích systému.
- Chod čerpadel systému společně s režimovými automatikami zajištěného napájení II kategorie a chodu dieselgenerátoru.

- Kontrola průchodnosti signálů od ESFAS na akční členy systému pro chlazení aktivní zóny.
- Provádění zkoušek ochran a blokád systému včetně signalizací.
- Periodická kontrola stavu strojního zařízení a SKŘ.
- Kontrola kvality roztoku H_3BO_3 v nádržích systému TJ, TH a hydroakumulátorech
- Kontrola tlaku dusíku a hladiny v hydroakumulátorech.
- Kontrola otevřeného stavu oddělovacích armatur hydroakumulátorů a zabezpečení jejich ovládání proti nežádoucí manipulaci.
- Kontrola souladu hodnoty hladiny v hydroakumulátoru a polohy plováku
- Ověření celkové funkce hydroakumulátoru jeho uvedením do činnosti a vylitím obsahu do otevřeného reaktoru (s vyvezenou aktivní zónou).

Výsledky provozních zkoušek a kontrol jsou po jejich provedení vyhodnoceny a jejich vyhovující výsledek je podmínkou dalšího provozu systému. V případě zkoušek, prováděných po ukončení odstávky pro výměnu paliva je jejich vyhovující výsledek součástí průkazu připravenosti pro povolení náběhu bloku. V případě provozních zkoušek a testů, které jsou prováděny v průběhu normálního provozu, musí být výsledek úspěšný, jinak vede k identifikaci neshody a nutnosti provést nápravná opatření. Tato skutečnost se promítne do hodnocení spolehlivosti systému dle kap. 6.2.5.2.

6.3.6 Připravenost systému chlazení aktivní zóny na další provoz

Návrh systému vyhovuje všem bezpečnostním požadovaným kritériím včetně vyhlášky SÚJB č.195/1999 Sb., kde v § 26 a 27 jsou stanoveny obecné požadavky na systémy havarijního chlazení a je vyhovující pro další provoz.

Dosavadní provoz pasivního systému je bez vážnějších závad nebo poruch, které by mohly mít vliv na jadernou nebo radiační bezpečnost. Celkový stav zařízení systému chlazení aktivní zóny je v přijatelné a velmi dobré kondici a systém je připraven plnit svoji bezpečnostní funkci. Na systém jsou aplikovány průběžně nové a ověřené poznatky z průmyslové praxe. Za současně přijatých a postupně realizovaných opatření a zachování stávajícího a nově zaváděného rozsahu řízení dopadů stárnutí a implementace doporučení vyplývajících z jejich analýzy je systém schopen bezpečného a spolehlivého provozu minimálně po dobu dalších 10 let.

6.4 Systémy pro zajištění činnosti obsluhy v dozornách

6.4.1 Účel systému pro zajištění činnosti obsluhy v dozornách

Systémy pro zajištění podmínek činnosti obsluhy jsou taková technická zařízení, která zajišťují obsluze možnost pracovat v blokové dozorně a provádět činnosti spojené s bezpečným řízením provozu jaderného bloku v normálních provozních podmínkách (DiD 1 a 2) a udržovat blok v bezpečném stavu při výskytu havarijních podmínek (DiD 3). V případě těžké havárie (DiD 4) musí systémy umožnit pobyt v blokové dozorně s možným použitím dalších ochranných prostředků, případně přerušovanou činnost s částečným ukrytím. V případě nepřijatelných životních podmínek v blokové dozorně je nutno zajistit bezpečný přechod obsluhy do nouzové dozorny.

Bloková (nouzová) dozorna je klíčovým prvkem pro řízení všech tří základních bezpečnostních funkcí, protože umožňuje jednak kontrolu technologických procesů prostřednictvím vybavení výstupy měření parametrů, jednak dálkové zásahy obslužného personálu do technologie prostřednictvím prvků ovládání systémů a komponent.

K systémům pro zajištění podmínek činnosti v blokové i nouzové dozorně patří stínění, filtrační systémy, klimatizace, zařízení pro nouzové stavy, zařízení pro skladování potravy a vody včetně zajištění nutného hygienického zázemí.

Nouzová dozorna je vybavena obdobnými, samostatnými ovládacími systémy, oddělenými od systémů pro blokovou dozornu, zdroji napájení a postupy, které zajišťují,

že personál má v ní vytvořeny takové podmínky, které umožňují bezpečně odstavit reaktor a udržet jej v bezpečném stavu.

6.4.2 Koncepce projektového řešení systému pro zajištění činnosti obsluhy v dozornách

Do systémů, které slouží pro zajištění podmínek činnosti obsluhy, patří pro blokovou a nouzovou dozornu takové systémy a technická zařízení, které poskytují podmínky a prostředky, umožňující dlouhodobý pobyt v dozornách a jejichž účelem je chránit obsluhu v blokové a nouzové dozorně před účinky takových látek, jako jsou:

- radioaktivní aerosoly a plyny
- jedovaté plyny
- kouř
- pára

u nichž nelze vyloučit, že v důsledku nehod resp. selhání technologických systémů elektrárny nebo vlivem nehod mimo území elektrárny mohou vznikat a následně se rozšířit do prostoru dozoren.

6.4.2.1 Koncepce blokové dozorny

Bloková dozorna a související prostory jsou situovány na podlaží +9,60 m v příčné etažérce objektu 806/1-01. Hranice blokové dozorny tvoří obvodové stěny místností, které jsou součástí blokové dozorny a které zajišťují její provozuschopnost. Bloková dozorna je umístěna mimo kontrolované pásmo. Vstup do blokové dozorny podléhá režimovým opatřením elektrárny a je povolen pouze určenému okruhu pracovníků.

Bloková dozorna je pracoviště s trvalou obsluhou, takže její vybavení musí odpovídat požadavkům na potřeby dostatečného počtu lidí. Při normálním a abnormálním provozu se v průběhu 24 hodin pohybuje celkový počet lidí od 3 do 6. Tomu musí odpovídat kapacity a vybavení příslušenství dozorny.

Bloková dozorna je vybavena kuchyňkou, přičemž její součástí je chladnice s vestavěným mrazicím oddělením s potřebnou zásobou potravin a nápojů. Součástí příslušenství je přívod pitné vody, sprcha a WC. Prostor blokové dozorny je vybaven lékárničkou pro základní ošetření drobných poranění.

6.4.2.2 Koncepce nouzové dozorny

Nouzová dozorna je situována na podlaží +9,60 m v příčné etažérce objektu 806/1-01. Nouzová dozorna má přímý přístup z blokové dozory přes její neoperativní část a navazující chodbu před dvoje protipožární dveře.

Nouzová dozorna není pracoviště s trvalou obsluhou, její použití je předpokládáno pouze v případě nepříznivých životních podmínek v blokové dozorně. V takové chvíli by přítomnost personálu v nouzové dozorně byla trvalá. Předpokládá se však přítomnost maximálně 4 osob.

6.4.2.3 Řešení ventilačního systému

Pro případ přítomnosti radioaktivních aerosolů nebo izotopů jódu v prostoru jaderné elektrárny je vzduchotechnika pro blokovou dozornu vybavena filtrační jednotkou pro filtraci přiváděného vzduchu.

Při vniku požáru v kabelovém prostoru pod podlahou blokové dozorny lze změnit provozní konfiguraci vzduchotechnických systémů pro blokovou dozornu z „cirkulační“ na „filtroventilační“, a tak dosáhnout přetlak v dozorně o velikosti 20 Pa. Tímto způsobem lze bránit průniku kouře do prostoru blokové dozorny skrze netěsnosti v podlaze. Tento způsob lze použít, i pokud kouř pronikl do prostoru před budovu příčné etažérky, neboť přetlak uvnitř blokové dozorny se vytváří za pomocí nouzové filtrační jednotky.

Při vniku požáru v kabelovém prostoru pod podlahou blokové dozorny nebo nouzové dozorny lze dále změnit konfiguraci vzduchotechnických systémů pro blokovou a nouzovou dozornu z „cirkulační" na „přívodní", a tak dosáhnout přetlak o velikosti1 Pa. Tímto způsobem lze částečně bránit průniku kouře do prostoru blokové dozorny nebo nouzové dozorny skrze netěsnosti v podlaze. Tento způsob však nelze použít, pokud kouř pronikl do prostoru před budovu příčné etažérky, neboť přetlak uvnitř se vytváří na základě sání venkovního vzduchu.

(ČEZ prověřit platnost – popis režimů v PpBZ po rekonstrukci VTZ BD není jednoznačný)

6.4.2.4 Protipožární systémy a vybavení

Bloková dozorna i přilehlé prostory jsou vybaveny elektronickou požární signalizací s výstupem jednak na dozorně samotné, jednak v operačním středisku hasičského záchranného sboru, dislokovaného na elektrárně s trvalou přítomností. Rozvaděče a kabelové prostory jsou vybaveny systémem halonového hašení. Vzhledem k tomu, že bloková dozorna je místo s trvalou obsluhou, je rovněž vybavena dýchacími prostředky pro přežití personálu v případě zakouření a ručními hasicími prostředky, vhodnými pro použití při hašení elektrického zařízení.

6.4.2.5 Bezpečnostní kvalifikace a klasifikace

Z pohledu klasifikace systémů je bloková dozorna místem, kde se setkává ovládání jak bezpečnostních tak provozních systémů. Příslušné části (panely a rozvaděče) jsou klasifikovány dle jejich příslušnosti k systémům, přičemž musí být zajištěno oddělení ovládání dle bezpečnostních tříd. Nejvyšší klasifikace systému na blokové dozorně je tedy BT 2. Z pohledu seismicity je bloková dozorna klasifikována jako 1a. je rovněž kvalifikována z pohledu elektromagnetické kompatibility (EMC).

6.4.3 Hodnocení provozu a připravenost systému na další provoz

Bloková a nouzová dozorna jako místo s trvalou obsluhou je průběžně modernizována a její provoz není nijak omezen po celou dobu života elektrárny. Jednotlivé části ovládání technologie jsou modifikovány jako součást modifikace příslušného zařízení či systému SKŘ. Její bezpečný provoz je zajištěn trvale.

6.5 Systémy pomocného napájení parních generátorů

6.5.1 Účel systému pomocného napájení parních generátorů

Systémem pomocného napájení parogenerátorů se rozumí uzel pomocných napájecích čerpadel menšího výkonu (než hlavní napájecí čerpadla), přičemž tento systém se skládá z dvojice elektronapáječek a pomocných tras menšího průměru (tzv. uzlu malých napájecích hlav), které jsou řazeny paralelně k hlavním provozním napájecím trasám a umožňují regulaci menšího množství dodávané napájecí vody do parogenerátorů.

Systém podporuje plnění druhé základní bezpečnostní funkce „Odvod tepla z reaktoru a ze skladů použitého paliva", přičemž svou činností zajišťuje dostatek sekundární vody v parogenerátorech, ze kterých pak lze odvádět teplo z primárního okruhu standardní parní cestou přes přepouštěcí stanice do hlavního kondenzátoru turbíny nebo přímo do atmosféry.

Systém pomocného napájení PG slouží primárně pro normální provoz (DiD 1), především při odstavování a náběhu bloku, jednak v abnormálních provozních stavech (DiD 2) pro dodávku vody do parogenerátorů v situaci, kdy je reaktor odstaven. V případě

havarijní situace (DiD 3) lze využít systém pomocného napájení PG k doplňování vody do parogenerátorů, vyčleněných k odvodu zbytkového tepla po odstavení reaktoru. Vzhledem k tomu, že systém je napájen ze zajištěného napájení 2. kategorie, lze jej použít i v případě událostí, spojených se ztrátou vnějšího elektrického napájení bloku.

6.5.2 Koncepce projektového řešení systému pomocného napájení parních generátorů

Projektové řešení systému je postaveno na třech základních provozních a bezpečnostních požadavcích:

- Mít k dispozici zdroj napájecí vody malého výkonu pro normální provoz zvláště pro režimy, kdy není reaktor na vysokém výkonu (úroveň DiD 1- hlavní uzel napájecích čerpadel je koncipován na vysoký výkon a v režimech náběhu či odstavování by parametry napájecí vody byly příliš vysoké)
- Abnormální provoz a přechodové stavy po odstavení reaktoru limitačním systémem nebo ochranným systémem RTS, kdy je výkon reaktoru nulový a dodávka napájecí vody do parogenerátorů slouží pouze pro odvod zbytkového tepla z aktivní zóny (úroveň DiD 2)
- Havarijní podmínky (DiD 3), přičemž v této úrovni systém nemá klasifikaci bezpečnostního systému, ale vzhledem k jeho konstrukci a napájení (II kategorie zajištěného napájení) je vysoká pravděpodobnost, že bude k dispozici, a lze jej s výhodou využít.[13]

Systém využívá jako zdroj média pro svoji činnost hlavní napájecí nádrže elektrárny, ve kterých je voda ohřáta na provozní teplotu cca 164 °C a voda, která se působením systému pomocného napájení dostává do parogenerátorů, nezpůsobuje zvýšené teplotní namáhání jeho součástí (především nátrubku a trubkovnice). Systém je koncipován jako zálohovaný s redundancí 2 x 100%. Systém je tvořen dvěma havarijními napájecími čerpadly, přičemž jedno je koncipováno jako pracovní, druhé je navrženo jako rezervní. Sání čerpadel je vyvedeno ze společného sacího kolektoru hlavních napájecích čerpadel. Výtlačné potrubí od havarijních napájecích čerpadel je zavedeno do společného napájecího kolektoru před napájecí hlavy. Havarijní napájecí čerpadla tak mohou dodávat napájecí vodu z napájecí nádrže přes napájecí hlavy do parogenerátorů prostřednictvím horního rozvodu napájecí vody.

Malé napájecí hlavy jsou koncipovány jako paralelní k hlavní provozní trase, používané pro výkonové napájení parogenerátorů. Malé napájecí hlavy jsou používány v režimech nízkého nebo nulového výkonu reaktoru. Elektromotory havarijních napájecích čerpadel, elektrické armatury na jejich výtlacích a armatury malých napájecích hlav jsou napájeny z rozvoden systému zajištěného napájení II. kategorie a to redundantně, tedy každé čerpadlo, výtlak a malá napájecí hlava z jiného elektrického systému.

Havarijní napájecí čerpadla jsou uložena na strojovně na kótě ± 0,0 m po stranách uzlu ENČ, výtlačné armatury čerpadel a obtokové napájecí hlavy jsou na podélné etažérce + 14,7 m.

6.5.3 Provozní režimy systému pomocného napájení parních generátorů

Systém pomocného napájení parních generátorů slouží k dopravě napájecí vody z napájecích nádrží do šesti parogenerátorů bloku přes napájecí hlavy v době, kdy jsou hlavní napájecí čerpadla mimo provoz ať už z důvodu jejich nepotřebnosti nebo výpadku.

6.5.3.1 <u>Normální provoz (DiD 1)</u>

V průběhu normálního výkonového provozu jsou obě havarijní napájecí čerpadla v záloze navolené do stavu „práce“ a „rezerva“. V režimech najíždění bloku, dochlazování

[13] Pro vlastní úroveň DiD 3 pak je určen systém nouzového napájení parogenerátorů dle kap. 6.8.

bloku a držení bloku v horké rezervě jsou čerpadla ovládána dálkově ručně z BD, popř. ručně z místa. Při najíždění z teplého stavu jsou parogenerátory napájeny pomocí systému pomocného napájení parogenerátorů. Po zvýšení výkonu reaktoru pracují havarijní napájecí čerpadla do okamžiku spuštění hlavních napájecích čerpadel, následně jsou ručně odstavena a uvedena do stavu pohotovosti („práce“ a „rezerva“).

Dodávka vody pro systém je zajištěna z napájecích nádrží, které jsou v normálním provozu plněny z kondenzace turbogenerátorů a nahřívány na provozní teplotu 164 °C. Pro malé výkony a stavy, kdy turbogenerátor a kondenzace nejsou v provozu, je do napájecích nádrží doplňována voda prostřednictvím pomocných tras z externího provozního zdroje demivody.

6.5.3.2 Abnormální provoz (DiD 2)

Při snížení hladiny ve dvou pracujících parogenerátorech na -140 mm od provozní hladiny se automaticky spouštějí obě čerpadla a zajišťují dodávku vody při ztrátě hlavních napájecích čerpadel. Tento režim má smysl pouze při odstaveném reaktoru (důvodem je nízká potenciální dodávka vody od havarijních napájecích čerpadel), proto ztráta tlaku napájecí vody při výpadku hlavních napájecích čerpadel způsobí TRIP signál na odstavení reaktoru od systému RTS. Čerpadla jsou rovněž spouštěna programem APS (ELS).

Vzhledem k tomu, že systém používá jako zdroj doplňovací vody do parogenerátorů normální provozní systém napájecích nádrží, v případě výpadku okruhu kondenzace je dostatečná zásoba demivody zajištěna dvojicí čerpadel externího zásobování, jejichž trasy jsou zavedeny přímo do napájecích nádrží. Tato čerpadla a příslušné armatury na trasách jsou rovněž elektricky napájena ze zajištěného napájení II. kategorie, takže v případě ztráty pracovního napájení bloku a přechodu na dieselgenerátory je celý okruh pomocného napájení parogenerátorů možno provozovat.

6.5.3.3 Havarijní provoz (DiD 3)

Systém pomocného napájení parogenerátorů není koncipován jako výkonný bezpečnostní systém ale jako systém, související s bezpečností. Vzhledem k jeho umístění, konstrukci a elektrickému napájení však v případě havarijní situace lze uvažovat o jeho použití, neboť primární PIU nemusí být zasažen. Systém je v této úrovni DiD provozován na doplňování hladiny v parogenerátorech a prostřednictvím systému havarijního odvodu tepla z primárního okruhu je odváděno zbytkové teplo aktivní zóny reaktoru.

6.5.4 Bezpečnostní požadavky na systém pomocného napájení parních generátorů

Systém pomocného napájení parogenerátorů je systémem podpůrným pro plnění druhé základní bezpečnostní funkce „odvod tepla z reaktoru a skladu použitého paliva“.

Celý systém je umístěn mimo hermetickou zónu, takže v případě havarijní situace uvnitř boxu parogenerátorů lze předpokládat, že touto událostí nebude zasažen a bude jej možno použít pro doplňování vody do parogenerátorů, přičemž jeho klasifikace je systém související s bezpečností (kap. 6.1.2) a nejsou na něj kladeny požadavky, jako na bezpečnostní systém.

Systém pomocného napájení parogenerátorů je dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 (a předcházejících vyhlášek 214/97, 436/90) Sb. zařazen do bezpečnostní třídy 3.

6.5.5 Hodnocení provozu systému pomocného napájení parních generátorů

6.5.5.1 Hlavní provedené modifikace za 30 let provozu

V průběhu provozu JE Dukovany nebyly na systému provedeny žádné modifikace, které by měnily původní projektovou logiku funkce systému. Vzhledem k tomu, že systém je svým charakterem systémem provozním a v průběhu provozu je využíván k plnění

provozních funkcí, modifikace slouží převážně k udržení a zlepšení kondice zařízení a jeho provozní spolehlivosti. Hlavními modifikacemi tedy byly:

- Výměny armatur, servopohonů a zpětných klapek z důvodu vyčerpání jejich provozní životnosti. Nové komponenty pak plní kritéria pro vybraná zařízení dle vyhlášek SÚJB č.132/2008 Sb. a č. 309/2005 Sb.
- Záměna havarijních napájecích čerpadel včetně elektropohonů za výkonnější typ. Důvodem je zlepšení průběhu přechodových procesů, spojených s vyšším tlakem v parogenerátorech.

6.5.5.2 Spolehlivost a životnost systému

Spolehlivost a životnost systému je dána především spolehlivostí havarijních napájecích čerpadel a výtlačných armatur. Ostatní části systému jsou trvale v provozu a jejich spolehlivost pak přímo určuje disponibilitu celé elektrárny. U nově instalovaných havarijních napájecích čerpadel je při běžném provozu a údržbě dle Provozní příručky životnost konstruována na 25 let. ND jsou výrobcem potvrzeny na dobu 30 let. Vzhledem k nízkému počtu skutečných provozních hodin však lze předpokládat, že u čerpadel za tuto dobu nedojde ještě k žádnému výraznému opotřebení.

Spojovací potrubí sání, výtlaku a ochozu automatického odpouštění, včetně armatur dodané při náhradě čerpadel, jejich údržba, revize a opravy jsou provázány s navazujícím původním potrubím. Při běžném provozu a údržbě je životnost konstruována na 25 let. K degradaci materiálu dochází pouze korozí a erozí, která je sledována.

6.5.5.3 Provozní zkoušky a kontroly

Systém pomocného napájení parogenerátorů je systémem provozním, avšak s periodickým zatížením. Fakticky je provozován především při odstavování a najíždění reaktoru, tedy jedenkrát za kampaň. Pro zajištění kontroly provozuschopnosti jsou v průběhu pohotovostního režimu systému prováděny následující zkoušky a kontroly:

- Kontrola parametrů havarijního napájecího čerpadla za provozu (všechny provozní parametry)
- Kontrola potrubí a armatur za provozu (těsnost systému a stav závěsů potrubí)
- Zkouška čerpadel krátkodobým chodem na recirkulaci při napájení z dieselgenerátoru
- Zkouška čerpadel hodinovým chodem na recirkulaci
- Zkouška ochran a blokád
- Diagnostika potrubí za odstávky – tloušťka stěn, erozní a korozní poškození

6.5.6 Připravenost systému pomocného napájení parních generátorů na další provoz

V roce 1999 byla na všech blocích provedena výměna stávajících havarijních napájecích čerpadel Sigmy Lutín za čerpadla KSB nové generace s projektovou životností 25 let. Výměna se projevila zvýšením spolehlivosti zařízení, neboť čerpadla HGM pro svůj provoz nevyžadují pomocná média a jsou tedy naprosto autonomní (nechlazená ložiska s kompozitní vrstvou mazanou dopravovaným médiem, mechanická ucpávka pouze na straně výtlaku je chlazena dopravovaným médiem ochlazovaným ve vzduchovém chladiči meziokruhu).

Za současného stavu údržby je systém schopen bezpečného a spolehlivého provozu po dobu výrazně delší než 10 let.

6.6 Provozní prohlídky vybraného zařízení dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb.

Pro účely zajištění jaderné bezpečnosti a provozní spolehlivosti jaderných elektráren je nezbytně nutné zajistit dostatečně kvalitní kontrolu jeho vybraných komponent jak v etapě výroby a montáže, tak i v období spouštění a provozu. Výsledky kontrol

provedených v období výroby a montáže zařízení jsou obsaženy v příslušné průvodní dokumentaci těchto zařízení. Slouží jako výchozí údaje při porovnávání s výsledky získanými při periodicky se opakujících provozních prohlídkách. Z tohoto důvodu se kontroly provedené v období před spuštěním jaderného reaktoru považují za jeho tzv. nultou provozní prohlídku.

Provozními prohlídkami se rozumí všechny kontroly vybraných zařízení, které se provádějí v období provozu jaderného zařízení. Musí navazovat na výsledky kontrol a revizí z období před spuštěním jaderného zařízení. Platí zde zásada, že se při provozních prohlídkách kontrolují stejná místa a používají stejné defektoskopické metody, metodiky, pracovní citlivosti a zkušební zařízení jako při prohlídkách předprovozních. Z nových zkušebních metod a zkušebních zařízení jsou přípustné jenom ty, které umožní provést příslušnou kontrolu na stejné, po případě vyšší kvalitativní úrovni.

6.6.1 Komponenty, vyžadující kontroly

Provozní kontroly jsou prováděny na všech zařízeních, uvedených v Programu provozních kontrol pro JE Dukovany. Program provozních kontrol je zpracován pro vybraná zařízení, která jsou uvedena v Seznamu vybraných zařízení. V tomto seznamu jsou uvedena vybraná zařízení JE Dukovany s uvedením bezpečnostní třídy. Rozsah a četnost provozních kontrol je největší u vybraných zařízení BT 1 (viz kap. 6.1.4), což je tlakový celek primárního okruhu. Zařízení BT 2 a BT 3 jsou především nádrže, chladiče a dochlazovače, výměníky, filtry, čerpadla, potrubní trasy, zařízení vzduchotechniky, rychlouzavírací klapky a armatury, hermetické klapky, akumulátorové baterie, usměrňovače a střídače, režimové automatiky zajištěného napájení, bezpečnostní systémy, napájení vlastní spotřeby, kabely, hermetické průchodky, zařízení SKŘ a stavební konstrukce.

6.6.2 Metody a postupy kontrol

Metody, rozsah a interval kontrol jednotlivých vybraných zařízení jsou uvedeny v programu provozních kontrol. V některých případech je v místě kontroly prostředí se zvýšenou úrovní ionizujícího záření. Proto jsou pro kontrolu využívány prostředky dálkové kontroly a manipulátory. Na každou metodu kontroly na příslušné komponentě jsou zpracovány metodiky a postupy, které jsou předkládány provozovateli ke schválení. V těchto postupech a metodikách jsou popsány postupy jednotlivých kontrol, požadavky na hodnocení a kategorii kontrol, hodnocení výsledků kontrol a kvalifikace pracovníků provádějící kontroly.

6.6.2.1 Tlaková nádoba a vnitřní části reaktoru

Provozní kontrole jsou podrobeny následující místa: těleso tlakové nádoby, těsnění hlavní dělicí roviny, horní blok, šachta reaktoru, dno šachty, pákový mechanismus s plovákem a uzavíracím víkem na tepelném štítu pod reaktorem, koš aktivní zóny, blok ochranných trub, vložená tyč, pohony HRK a spojovací materiál.

Používané kontrolní a zkušební metody jsou vizuální kontrola, zkouška kapilární metodou, zkouška magnetickou práškovou metodou, zkouška ultrazvukem, sledování vibrací, zkouška vířivými proudy, tlaková pevnostní a těsnostní zkouška a zkouška těsnosti hlavní dělicí roviny.

Pro kontroly tlakové nádoby reaktoru jsou používány mechanické a automatizované manipulátory.

6.6.2.2 Parogenerátor

Pro kontroly základního materiálu, svarových spojů a těsnících uzlů parogenerátorů se v průběhu provozních prohlídek používají tyto metody kontrol: vizuální kontrola, kapilární kontrola, magnetická kontrola, ultrazvuková kontrola, kontrola prozářením,

kontrola vířivými proudy, korozní test úsad, stanovení chloridů, kontrola těsnosti teplosměnných trubek a impulsních linií, sledování vibrací a posuvů, detekce volných částí, tlaková (pevnostní) a těsnostní zkouška.

Pro kontroly parogenerátoru jsou používány mechanické a automatizované manipulátory.

6.6.2.3 Kompenzátor objemu

Pro kontroly základního materiálu, svarových spojů a těsnících uzlů kompenzátoru objemu se v průběhu provozních prohlídek používají tyto metody kontrol: vizuální kontrola, kapilární kontrola, magnetická kontrola, ultrazvuková kontrola, tlaková a těsnostní zkouška a kontrola izolačního stavu elektroohřívačů.

Pro kontrolu heterogenního svaru hrdla DN 320 kompenzátoru objemu se používá potrubní manipulátor.

6.6.2.4 Barbotážní nádrž

Pro kontrolu svarových spojů se používá kapilární kontrola, dále tlaková (pevnostní) a těsnostní zkouška a kontrola neporušenosti membrán.

6.6.2.5 Hlavní cirkulační čerpadla

Pro kontrolu základního materiálu, svarových spojů a dílů utěsnění hlavního cirkulačního čerpadla se v průběhu provozních kontrol používají následující metody: vizuální kontrola, kapilární kontrola, ultrazvuková kontrola, rozměrová kontrola, sledování vibrací a detekce volných částí, tlaková (pevnostní) a těsnostní zkouška. Pro kontroly hlavních cirkulačních čerpadel jsou používány mechanické a automatizované manipulátory.

6.6.2.6 Hlavní cirkulační potrubí

Pro kontroly základního materiálu a svarových spojů se v průběhu provozních prohlídek používají tyto metody kontrol: vizuální kontrola, kapilární kontrola, kontrola prozářením, ultrazvuková kontrola, sledování vibrací a posuvů, detekce volných částí, tlaková a těsnostní zkouška. Pro kontroly hlavního cirkulačního potrubí jsou používány mechanické a automatizované manipulátory.

6.6.2.7 Hlavní uzavírací armatury

Pro kontroly částí hlavní uzavírací armatury se používá kontrola vizuální. Kontrole podléhají těsnicí vlnovec, vřeteno, klín, vnitřní povrch tělesa armatury a tlakové (pevnostní) a těsnostní zkoušky.

6.6.3 Hodnocení výsledků kontrol

Kritéria pro hodnocení indikací zjištěných při provozních kontrolách jsou uvedena v programu provozních kontrol. Při jejich určování se vycházelo z předpisů platných při výrobě a montáži zařízení. Pokud jsou indikace, zjištěné při provozních kontrolách, větší než takto určená kritéria, je hodnocení provedeno výpočtem založeném na předpokládané rychlosti růstu necelistvosti. Přípustná je taková necelistvost, jejíž velikost se do následující kontroly nezvětší nad kritické rozměry.

Při posuzování indikací zjištěných při kontrole reaktoru se dále postupuje podle „Návody a doporučení pro hodnocení životnosti tlakové nádoby reaktoru a vnitřních částí reaktorů VVER během provozu JE (vydáno SÚJB v edici Bezpečnost jaderných zařízení - 1998).

Výsledky provozních kontrol jednotlivých zařízení jsou dokumentovány protokoly předepsanými programem provozních kontrol, který je schválen a kontrolován SÚJB.

6.7 Systém havarijního odvodu paroplynné směsi z primárního okruhu

6.7.1 Účel systému havarijního odvodu paroplynné směsi z primárního okruhu

Účelem systému havarijního odvodu paroplynné směsi z primárního okruhu je havarijní odvzdušnění konstrukčně nejvýše položených míst (vrchlík reaktoru a primární kolektory parogenerátorů) při stavech DiD 3. Při neřízeném odtlakování primárního okruhu vzniká varem chladiva paroplynná směs, která se shromažďuje v nejvyšších místech. Dalším zdrojem nekondenzovatelného plynu je uvolnění vodíku z primárního chladiva při změně jeho parametrů, případně počínající reakcí zirkonia s vodou za intenzivního vývinu vodíku.

Tato směs může způsobit vytlačení vody z horní části reaktoru, případně primárních kolektorů, a přerušit tak přirozenou cirkulaci chladiva přes aktivní zónu, případně parogenerátor. Důsledkem by mohl být neřízený nárůst teploty na výstupu z aktivní zóny a poškození pokrytí paliva. Systém tedy slouží k plnění druhé základní bezpečnostní funkce „Odvod tepla z reaktoru a ze skladů použitého paliva“. Systém se skládá z havarijního odvzdušnění reaktoru a havarijního odvzdušnění primárních kolektorů.

Systém je dimenzován na použití odvodu paroplynné směsi v úrovni DiD 3, není dostatečně dimenzován na odvod vodíku, vznikajícího reakcí zirkonia s vodou v úrovni DiD 4. V úrovních DiD 1 a DiD 2 tento systém žádnou funkci neplní.

6.7.2 Koncepce projektového řešení havarijního odvodu paroplynné směsi z primárního okruhu

Systém je proveden jako klasické odvzdušnění nejvyššího místa nádoby či potrubí, osazen je sériově řazenými elektroarmaturami s clonou, která omezuje průtok. Havarijním odvodem je vybaveno nejvyšší místo reaktoru přes centrální pohon HRK a všechny primární kolektory parogenerátorů. Napojeno je na původní trasy provozního odvzdušnění TY 13 a svedeno přes společný kolektor do barbotážní nádrže. Ovládání systému havarijního odvzdušnění primárního okruhu není nijak automatizováno, bylo by aktivováno ručním zásahem operátora reaktoru dle příslušných havarijních postupů.

6.7.3 Provozní režimy systému havarijního odvodu paroplynné směsi z primárního okruhu

Systém je v průběhu normálního i abnormálního provozu ve stavu pohotovosti. Jeho použití je předpokládáno v případě takových havarijních událostí, při kterých zůstává primární okruh celistvý nebo jen s malým únikem v režimu přirozené cirkulace (tedy s odstavenými hlavními cirkulačními čerpadly) a existuje riziko hromadění paroplynné směsi nebo nekondenzovatelných plynů. Tyto stavy jsou popsány v havarijních postupech. Systém se aktivuje otevřením příslušných elektroarmatur.

6.7.4 Bezpečnostní požadavky na systém havarijního odvodu paroplynné směsi z primárního okruhu

Systém havarijního odvodu paroplynné směsi z primárního okruhu patří mezi výkonné aktivní bezpečnostní systémy a je klasifikován jako BT 2 (kap. 6.1.2). Stejně jsou klasifikovány i ovládací a napájecí obvody. Elektrické napájení je provedeno z podružných rozvaděčů II. kategorie zajištěného napájení.

Kvalifikace na podmínky prostředí se odvíjí od umístění konkrétního zařízení. Sledovanými parametry jsou teplota a relativní vlhkost atmosféry, přetlak po havárii, dávkový příkon, výška hladiny vody na podlaze a výskyt sprchování. Vzhledem k tomu, že armatury systému jsou umístěny v hermetické zóně, jsou kvalifikovány na prostředí

LOCA. Pro systém je požadovaná seismická kvalifikace do úrovně SL2 a systém je zařazen do seismické kategorie 1b.

6.7.5 Hodnocení provozu systému havarijního odvodu paroplynné směsi z primárního okruhu a připravenost na další provoz

Systém nebyl součástí původního projektu JE Dukovany a byl doplněn v letech 2001 – 2002 jako řešení společného bezpečnostního doporučení IAEA pro JE typu VVER. Do zprovoznění systému havarijního odvzdušnění z R a PG byla JE Dukovany provozována bez nutnosti použít tento systém.

V době provozování nevznikl mimořádný provozní stav, který by bylo nutno řešit užitím systému. Z těchto důvodů je možno hodnotit dosavadní stav provozu jako bezproblémový. Od doby instalace systému nejsou v databázi poruchových událostí EDU evidovány žádné poruchy systému.

Systém je navržen a realizován tak, aby jak po stránce pevnostních požadavků, tak i volbou použitých materiálů splňoval požadavky životnosti komponent primární části zajišťujících integritu primárního okruhu a umožňoval provoz systému minimálně do roku 2025

6.8 Systém nouzového napájení parních generátorů

6.8.1 Účel systému nouzového napájení parních generátorů

Systémem nouzového napájení parogenerátorů se rozumí tzv. superhavarijní napájecí čerpadla spolu se systémem napájecích kolektorů a armatur (tzv. superhavarijních napájecích hlav). Účelem systému nouzového napájení parogenerátorů je zajištění dostatečné zásoby vody pro sekundární odvod tepla z primárního okruhu prostřednictvím parogenerátorů. Systém plní druhou základní bezpečnostní funkci „Odvod tepla z reaktoru a ze skladů použitého paliva“.

Systém je určen pro řešení událostí úrovně DiD 3, přičemž jeho součástí jsou pomocné nátrubky pro připojení alternativních prostředků doplňování PG (hasičská cisterna s čerpadlem), čímž je jeho funkce rozšířena i na události DiD 3b a částečně DiD 4.

6.8.2 Koncepce projektového řešení systému nouzového napájení parních generátorů

Nouzové napájení parogenerátorů patří mezi výkonné bezpečnostní systémy (kap. 6.1.2). Aktivní část systému (superhavarijní napájecí čerpadla a výtlačné armatury) je třídivizní (3 x 100%). Výtlačné superhavarijní napájecí kolektory jsou zdvojeny. Sání superhavarijních čerpadel je ze tří nádrží demivody (3 x 1000 m^3), které jsou umístěny vně bloku a slouží pro celý dvojblok.

Aktivní prvky každé divize jsou napájeny ze samostatné sekce zajištěného napájení II. kategorie (sekce 6 kV a 0,4 kV) a jejich aktivace je zajištěna systémem ESFAS, který má rovněž třídivizní charakter. Všechny aktivní prvky systému nouzového napájení parogenerátorů rovněž umožňují ruční ovládání z blokové a nouzové dozorny. Koncepčně jsou tedy divize řešeny jako ucelený soubor technologie, elektrického napájení, automatik a systému kontroly a řízení, pro jejichž projekt a konstrukci jsou využity zásady dle kap. 6.1.4.

Přívod vody na sání superhavarijních čerpadel je řešen dvěma samostatnými sacími kolektory. Na oba sací kolektory jsou přes trvale otevřené uzavírací elektroarmatury napojeny všechny tři 1000 m^3 nádrže.

Výtlak superhavarijních čerpadel 1 a 2 je veden potrubním kanálem do strojovny a dále na podélnou etažérku na + 22,5 m, kde je napojen na příslušnou polovinu

superhavarijního napájecího kolektoru. Superhavarijní napájecí kolektor je rozdělen na dvě poloviny třemi sériově řazenými šoupátky s elektrickým pohonem, z nichž každé je napájeno z příslušného systému zajištěného napájení II. kategorie. Jedno superhavarijní čerpadlo zásobuje jednu polovinu superhavarijního napájecího kolektoru a odtud parogenerátory 1,2,3, druhé superhavarijní čerpadlo zásobuje druhou polovinu superhavarijního napájecího kolektoru a odtud PG 4,5,6. Výtlak superhavarijního čerpadla 3 je v potrubním kanálu napojen na oba výtlaky čerpadel 1 a 2 a třetí čerpadlo tak může zásobovat vodou obě poloviny superhavarijního napájecího kolektoru.

Napájení parogenerátorů ze superhavarijního napájecího kolektoru je provedeno superhavarijními napájecími hlavami, které jsou tvořeny uzavírací a regulační armaturou a jsou samostatné pro každý parogenerátor. Zavedení média do parogenerátoru je provedeno zvláštním nátrubkem a nedochází tak k propojení s provozním nebo pomocným systémem napájecí vody.

Výkon systému superhavarijních napájecích čerpadel je stanoven tak, aby v případě ztráty hlavního a pomocného napájecího okruhu po následném automatickém odstavení bloku umožnil odvádět zbytkový výkon reaktoru. Superhavarijní čerpadla v havarijních případech dodávají do parogenerátorů demivodu o teplotě cca 20 °C, přičemž je konstrukčně počítáno s teplotním namáháním parogenerátoru v tomto režimu.

Pro případy nadprojektových havárií (úroveň DiD 4), kdy by z libovolné příčiny nebylo dostupné žádné superhavarijní ani havarijní čerpadlo, jsou na výtlačných trasách systému superhavarijního napájení přípojky pro podání chladícího média do PG z rozvodu požární vody nebo hasičské cisterny. Médium je možno podávat buď z nádrží 1000 m^3 (přes sací přípojku) nebo z přistavené hasičské cisterny.

SHNČ – obrázek!

6.8.3 Provozní režimy systému nouzového napájení parních generátorů

Systém nouzového napájení parních generátorů je projektově navržen jako **bezpečnostní systém** na řešení havárií úrovně DiD 3. V úrovních DiD 1 a DiD 2 je provozován pouze v pohotovostním režimu a pro zajištění jeho spolehlivosti je na něm vykonávána řada kontrol a testů. Jeho možnostem použití pro úroveň DiD 4 je věnována část samostatné kapitoly 19.

6.8.3.1 Technologické provozní režimy

Pro iniciaci úrovně DiD 3 a zahájení činnosti systému nouzového napájení parogenerátorů je použit parametr poklesu hladiny ve 2/6 parogenerátorech. Při iniciační události dochází od tohoto a dalších diverzních parametrů nejprve k odstavení reaktoru systémem RTS, který má setpointy nastaveny tak, aby odstavení reaktoru vždy předcházelo aktivaci bezpečnostních systémů. Celá činnost systému nouzového napájení parogenerátorů tak probíhá při **odstaveném reaktoru**.

Typickou PIU pro iniciaci systému je poškození (roztržení) provozního napájení parogenerátorů s uvažovaným souběhem ztráty pracovního elektrického napájení. V případě iniciace havarijních podmínek je systém nouzového napájení parogenerátorů automaticky uveden do činnosti signálem ESFAS s provozem čerpadel na recirkulaci.

Připojení k parogenerátoru provádí obsluha ručně klíčem z blokové (nouzové) dozorny. Ruční zásah je považován za adekvátní, neboť z výsledků bezpečnostních analýz vyplývá, že zůstatkový objem vody v parogenerátorech po odstavení reaktoru je dostatečný pro odvod zbytkového tepla z aktivní zóny po dobu delší než 30 minut.

Pro řešení události DiD 4 se předpokládá použití alternativních zdrojů napájení parogenerátorů, přičemž jejich specifikace záleží na konkrétních podmínkách, přičemž tato problematika bude podrobněji rozebrána v kap. 19.

6.8.3.2 Elektrické provozní režimy

Superhavarijní čerpadla systému nouzového napájení parogenerátorů jsou napájeny z odpovídajících divizí zajištěného napájení II kategorie. Během provozu systémů v pohotovostním i havarijním režimu jsou jednotlivé sekce 6 kV i 0,4 kV napájeny z pracovního napájení. Pokud v průběhu normálního provozu nebo havarijní události dojde ke ztrátě napětí na příslušné sekci zajištěného napájení, je tato od pracovního přívodu automaticky odpojena. Při ztrátě napětí jsou superhavarijní čerpadla odpojena. Ztrátou napětí na sekci je iniciován start dieselgenerátoru a po jeho náběhu je spuštěna automatika postupného spouštění (ELS). Superhavarijní čerpadla jsou pak opětovně připojena na elektrické napájení. Po přechodu napájení na zajištěný zdroj čerpadla dále pokračují v plnění bezpečnostní funkce.

6.8.4 Bezpečnostní požadavky na systém nouzového napájení parních generátorů

6.8.4.1 Bezpečnostní klasifikace a kvalifikace

Systém nouzového napájení parogenerátorů patří mezi výkonné aktivní bezpečnostní systémy, které po iniciaci systémem ESFAS provádějí příslušné bezpečnostní funkce. Jsou klasifikovány jako systémy BT 2 (kap. 6.1.2). Stejně jsou klasifikovány i řídící, ovládací a napájecí obvody.

Superhavarijní napájecí čerpadla, výtlačné trasy a superhavarijní napájecí kolektor včetně napájecích hlav jsou zařazené do seznamu VZSN (vybrané zařízení speciálně navrhované) podle vyhlášky SÚJB č. 309/2005 Sb.

Požadavek kvalifikace na podmínky prostředí se odvíjí od toho, kde je zařízení umístěno. Sledované parametry jsou teplota a relativní vlhkost atmosféry, přetlak po havárii, dávkový příkon, výška hladiny vody na podlaze a výskyt sprchování. Části systému nouzového napájení parogenerátorů (strojní, elektro, MaR) umístěné mimo HP jsou kvalifikovány na podmínky normálního prostředí. Na podélné etažérce +14,7 m se mohou vyskytnout havarijní podmínky HELB. Z tohoto důvodu jsou potrubní trasy systému, umístěné na PoE +14,7 m chráněny ocelovým plechem o tloušťce 20 mm. V HP se mohou vyskytnout havarijní podmínky LOCA, avšak v HP se aktivní prvky Systému SHNČ nevyskytují.

6.8.4.2 Ochrana proti interním a externím hazardům

Z pohledu ochrany proti **interním hazardům** je systém nouzového napájení parogenerátorů chráněn proti (viz kap. 6.1.4.4):

- Vnitřním záplavám a tryskajícím médiím
- Vnitřním letícím předmětům, padajícím břemenům a švihům potrubí
- Vnitřnímu požáru

Systém nouzového napájení parogenerátorů musí být seizmicky odolný do úrovně SL2, což odpovídá maximálnímu povrchovému zrychlení na úrovni terénu 0,1 g vztaženému ke spektru odezvy na podlažích, kde je zařízení systému fyzicky umístěné (od -5,5 m do 22,5 m).

Části systému nouzového napájení parogenerátorů, umístěné na volném prostranství (zásobní nádrže demivody 1000 m^3) jsou odolné vůči ostatním posuzovaným externím rizikům až do úrovně odpovídající periodicitě výskytu jednou za 10 000 let. Jedná se hlavně o zatížení větrem, sněhem, extrémními teplotami, odolnost vůči vnějším tlakovým vlnám a pádu referenčního letadla. Odolnost částí systému nouzového napájení parogenerátorů, umístěných uvnitř stavebních objektů, zabezpečuje odolnost těchto objektů.

6.8.4.3 Ochrana proti jednoduché poruše a poruše ze společné příčiny

Bezpečnostní systémy nouzového napájení parogenerátorů musí být řešeny tak, aby pro jakoukoliv PIU uvažovanou v projektu byla splněna kritéria přijatelnosti i v případě vzniku libovolné dodatečné nezávislé jednoduché poruchy.

Při zohlednění tohoto požadavku musí být systém nouzového napájení parogenerátorů řešen s redundancí 3 x 100%, tzn. je tvořen třemi nezávislými systémy (včetně nádrží, čerpadel, armatur a elektrického napájení).

Pasivní část systému nouzového napájení parogenerátorů v rozsahu páteřních rozvodů demivody od zásobních nádrží k odbočkám na sání čerpadel SHNČ a výtlačných tras z objektu superhavarijního přístavku k sekčnímu kolektoru na podélnou etažérku +22,5 m je provedena s redundancí 2 x 100%. Na sacích a výtlačných trasách nejsou v režimech bloku, ve kterých je požadována bezpečnostní funkce systému nouzového napájení parogenerátorů, prováděny úkony preventivní údržby ani kontroly a funkční zkoušky vedoucí k neprovozuschopnosti trasy. Z tohoto pohledu je uspořádání tras s redundancí 2 x 100 % odolné vůči výskytu jednoduché poruchy trasy.

Z pohledu výskytu poruchy se společnou příčinou není vnitřní diverzita u systému nouzového napájení parogenerátorů explicitně vyžadována. Podle SSR-2/1 je odolnost proti poruše ze společné příčiny explicitně vyžadována pouze pro systémy bezpečného odstavení reaktoru a dále pro bezpečnostní systémy založené na počítačových systémech.

Ve strojní části je splněno kritérium odolnosti proti poruše ze společné příčiny u superhavarijních čerpadel. Čerpadlo v první divizi je odlišného typu od čerpadel příslušející druhé a třetí divizi. Ochrana před poruchou ze společné příčiny je zajištěna organizačními opatřeními, kdy je po vzniku poruchy na některé komponentě provedena na ostatních systémech/divizích kontrola stavu a funkčnosti stejné komponenty. Doplňující aspekt ochrany ze společné příčiny je v podstatě duplicitní funkce systému pomocného napájení PG (viz kap. 6.5), který je funkčně, technologicky i prostorově zcela nezávislý na systému.

6.8.4.4 Funkční a fyzická nezávislost jednotlivých divizí systému

Bezpečnostním požadavkem je, aby divize systému nouzového napájení parogenerátorů byly fyzicky i funkčně zcela nezávislé, umístěné v samostatných prostorech a kompletně oddělené. Systém nesmí být řešen jako technologicky propojený (z pohledu plnění bezpečnostních funkcí).

Superhavarijní čerpadlo první divize používá výtlačné trasy čerpadel druhé nebo třetí divize. Pro vyloučení poruchy se společnou příčinnou (nedostupnost trasy) nejsou na společných trasách vykonávány činnosti preventivní údržby v režimech, kdy je vyžadována připravenost na plnění bezpečnostní funkce (viz předchozí kapitola). Ostatní části systému nouzového napájení parogenerátorů, umístěné v jednom stavebním objektu, jsou od sebe odděleny a chráněny vnitřními přepážkami nebo vzdáleností.

Mezi další požadavky na systémy zařazené do úrovně DiD 3 patří požadavek na funkční a fyzické oddělení od systémů DiD 1 a DiD 2 (systémy bez vlivu na bezpečnost, popř. systémy s bezpečností související). Po strojní stránce je systému nouzového napájení parogenerátorů napojen na trasy okruhu ohřevu zásobních nádrží demivody (ochrana proti zamrznutí). Část od zásobní nádrže po první oddělovací armaturu je klasifikována jako BT2. Dalším propojením se systémem nedůležitým pro bezpečnost je propoj s objektem CHUV (doplňování zásobních nádrží demivody). Část od zásobní nádrže po první oddělovací armaturu je BT2. Tím je zabráněno možnosti zavlečení nesouvisející poruchy do systému úrovně DiD 3 ze systémů úrovně DiD 1 a 2.

6.8.5 Hodnocení provozu systému nouzového napájení parních generátorů

6.8.5.1 Hlavní provedené modifikace za 30 let provozu

Na systému nouzového napájení parogenerátorů byly provedeny modifikace, které zlepšují plnění původních projektových požadavků na úroveň, která odpovídá současné mezinárodní praxi dle IAEA. Další část modifikací byla vyvolána požadavkem na vylepšení funkce systému pro úroveň DiD 4. Třetí částí modifikací je standardní trvalé zlepšování spolehlivosti systému. Dále jsou uvedeny pouze významné zásahy či modifikace:

- Přemístění a zodolnění výtlačných kolektorů superhavarijních čerpadel z pohledu seismicity a okolního prostředí.
- Doplnění přírub pro připojení externího čerpadla či zdroje vody (alternativní prostředek pro úroveň DiD 4).
- Doplnění třetího superhavarijního čerpadla (zajištění požadavku na redundanci 3 x 100%).

6.8.5.2 Spolehlivost a životnost systému

Systém nouzového napájení parogenerátorů je během provozu bloku v pohotovostním režimu a jejich schopnost vykonávat bezpečnostní funkci v úrovni DiD 3 je posuzována prostřednictvím kontrol a testů. Jejich stav je pak hodnocen prostřednictvím „Health reportů“ (kap. 6.1.5.2).

6.8.5.3 Funkční zkoušky a kontroly

Připravenost systému k uvedení do provozu v případě výskytu havarijní situace se musí ověřovat zkouškami a kontrolami. Základními metodami provozních kontrol jsou:

- vizuální kontrola
- kapilární kontrola metodou barevné defektoskopie
- kontrola prozářením
- měření korozních úbytků
- tlakové a těsnostní zkoušky vodním přetlakem
- diagnostická kontrola točivých strojů

Mimo to se periodicky ověřuje připravenost systému nouzového doplňování parogenerátorů plnit své bezpečnostní funkce prostřednictvím následujících kontrol a zkoušek:

- Periodická kontrola stavu zařízení, přírubových spojů, celistvost a připravenost k práci
- Kontrola provozuschopnosti čerpadel krátkodobým chodem na recirkulaci.
- Kontrola chodu čerpadel na zkušební recirkulaci po dobu alespoň jedné hodiny. Součástí kontroly je ověření polohy ručních armatur na sání zkoušených čerpadel včetně kontroly jejich zabezpečení proti neoprávněné manipulaci.
- Chod čerpadel systému společně s režimovými automatikami zajištěného napájení II kategorie a chodu dieselgenerátoru.
- Kontrola průchodnosti signálů od ESFAS na akční členy systému pro chlazení aktivní zóny.
- Zkouška pohyblivosti regulačních armatur.
- Zkouška ochran a blokád.

Výsledky provozních zkoušek a kontrol jsou po jejich provedení vyhodnoceny a jejich vyhovující výsledek je podmínkou dalšího provozu systému. V případě zkoušek, prováděných po ukončení odstávky pro výměnu paliva je jejich vyhovující výsledek součástí průkazu připravenosti pro povolení náběhu bloku. V případě provozních zkoušek a testů, které jsou prováděny v průběhu normálního provozu, musí být výsledek úspěšný, jinak vede k identifikaci neshody a nutnosti provést nápravná opatření. Tato skutečnost se promítne do hodnocení spolehlivosti systému dle kap. 6.2.5.2.

6.8.6 Připravenost systému nouzového napájení parních generátorů na další provoz

Celkový stav zařízení systému SHNČ je na přijatelné úrovni. Zařízení je ve velmi dobrém stavu a systém je schopen plnit svoje bezpečnostní funkce.

Z výsledků programu řízeného stárnutí vyplývá, že bezpečnostní funkce zařízení jsou zaručeny a nejsou známy omezení, které by bránily provozu zařízení po dobu minimálně dalších 10 let.

Za současně přijatých a postupně realizovaných opatření, zachování stávajícího a nově implementovaného rozsahu řízení dopadů stárnutí je systém nouzového napájení parogenerátorů schopen bezpečného a spolehlivého provozu minimálně po dobu dalších 10 let.

6.9 Systém havarijního odvodu tepla z primárního okruhu

6.9.1 Účel systému havarijního odvodu tepla z primárního okruhu

Systémem havarijního odvodu tepla z primárního okruhu se rozumí jednak systém technické vody důležité jako základního prostředku pro odvod tepla z bezpečnostních systémů a dále systémy návazné na parogenerátory, které odvádí teplo z primárního okruhu prostřednictvím sekundárního média – páry nebo vody. Účelem systému havarijního odvodu tepla z primárního okruhu je tedy odvod zbytkového tepla jaderného paliva především v úrovni DiD 3, případně i DiD 2. V případě DiD 3 je pro plnění druhé základní bezpečnostní funkce jako hlavní bezpečnostní systém uvažován systém havarijního chlazení aktivní zóny (kap. 6.3), a na něj navazující systém technické vody důležité, avšak v případě některých PIU (např. roztržení trubky parogenerátoru) je pro zmírnění radiačních následků události účelné použít systém havarijního odvodu tepla prostřednictvím parogenerátorů.

Systém plní druhou základní bezpečnostní funkci „Odvod tepla z reaktoru a ze skladů použitého paliva“. Pro plnění této funkce jsou použity rovněž trasy pro normální provoz, protože systém zajišťuje odvod tepla převážně v úrovni DiD 2, kdy je bezprostředně po odstavení reaktoru třeba odvést velké množství zbytkového tepla.

6.9.2 Koncepce projektového řešení havarijního odvodu tepla z primárního okruhu

Systém havarijního odvodu tepla z primárního okruhu pro úroveň DiD 3 je složen ze systému technické vody důležité, odvodu páry z parogenerátorů přes technologické kondenzátory s příslušenstvím (redukční stanice a čerpadla), a koncového jímače tepla (atmosféra). Druhým koncepčním řešením odvodu tepla je přímé vypouštění páry z parogenerátorů do atmosféry přes přepouštěcí stanice do atmosféry nebo pojistné ventily parogenerátorů. Dále existují i provozní trasy přes přepouštěcí stanice do hlavních kondenzátorů turbogenerátoru nebo přes redukční stanice do kolektoru s párou 0,7 MPa.

6.9.2.1 <u>Technická voda důležitá</u>

Technická voda důležitá (TVD) je dvojblokové zařízení s redundancí 3 x 100%. Tvoří tedy tři nezávislé cirkulační okruhy, které chladí důležité spotřebiče primárního okruhu v divizním uspořádání. Slouží jako klíčový systém pro odvod tepla ze systému chlazení aktivní zóny (kap. 6.3), systému hermetické zóny a její ochrany (kap. 6.2) přes výměníky TQ, technologických kondenzátorů a dále slouží k chlazení důležitých zařízení primárního i sekundárního okruhu. Dalším důležitým spotřebičem jsou výměníky systému chlazení bazénu použitého jaderného paliva (TG).

Systémem TVD je odváděno teplo na vnější systém chladicích věží, které jej dále předávají do koncového jímače tepla – atmosféry. Koncepčně je systém řešen tak, že na každé divizi jsou do společného výtlaku zapojena 4 čerpadla technické vody důležité, z nichž jedna dvojice je napájena se sekce 6 kV zajištěného napájení II kategorie jednoho bloku, druhá dvojice je napájena z obdobné sekce bloku druhého. Jeden třídivizní systém technické vody důležité je společný pro 1. a 2. reaktorový blok (1. HVB), druhý třídivizní systém pro 3. a 4. reaktorový blok (2. HVB). Rovněž systémy chladicích věží jsou pro 1. i 2. HVB řešeny jako samostatné.

6.9.2.2 Koncový jímač tepla

Koncovým jímačem tepla je v případě JE Dukovany atmosféra, přičemž převedení tepelné energie z technické vody důležité do koncového jímače probíhá ve ventilátorových chladicích věžích. Ventilátorové chladicí věže jsou provedeny jako seizmicky odolné betonové konstrukce s nuceným tahem, přičemž každá divize je zdvojena. Napájení ventilátorů pro nucený tah je provedeno z příslušných sekcí zajištěného napájení II. kategorie z obou bloků příslušného HVB. Napojení potrubního systému je provedeno prostřednictvím klapek s elektrohohonem, které umožňují přemanipulaci systému technické vody důležité na cirkulační chladicí věže.

Jako diverzní způsob přenosu tepla do atmosféry lze použít původní systém chladicích věží chlazení cirkulační chladicí vody. Konstrukce chladících věží s přirozeným tahem je tvořena železobetonovou konstrukcí na betonových sloupech. V dolní části jsou věže opatřeny bazény pro sběr vody. Výška věží je 125 m a průměr bazénu je 98 m. Chladicí věže slouží v normálním provozu ke chlazení cirkulační chladicí vody (chlazení hlavních kondenzátorů turbogenerátorů), přičemž na rozliv je zavedena rovněž technická voda důležitá. Sání čerpadel technické vody důležité je ze samostatných jímek, které jsou s bazény pod chladicími věžemi propojeny sacími kanály.

6.9.2.3 Technologické kondenzátory a příslušenství

Projektové řešení je dáno koncepcí parních rozvodů JE Dukovany (trojice parovodů jsou připojeny na půlený hlavní parní kolektor). Systém se skládá z dvojice redukčních stanic, přičemž každá je připojená na jednu polovinu hlavního parního kolektoru. Výstup z redukčních stanic je veden na dvojici technologických kondenzátorů, chlazených technickou vodou důležitou., technologické kondenzátory a redukční stanice jsou tak provedeny s redundancí 2 x 100%. Kondenzát z technologických kondenzátorů je veden na trojici dochlazovacích čerpadel, napájených po divizích z II. kategorie systému zajištěného napájení. Čerpadla jsou tedy provedena s redundancí 3 x 100%. Vychlazený kondenzát je přečerpáván zpět do parogenerátorů přes napájecí nádrže. Při použití tohoto systému tak nedochází ke ztrátám chladicího média z okruhu. Projektově jsou určeny dva základní režimy provozu, parovodní a vodovodní režim, které jsou dále popsány v kap. 6.9.3. Schéma dochlazovacího systému je uvedeno v kapitole 5.4.7 této Zprávy.

6.9.2.4 Přepouštěcí stanice do atmosféry

Hlavní parní kolektor jako propoj parní strany parogenerátorů je dělen sekčními armaturami na dvě poloviny, do jedné jsou zaústěny parovody lichých parogenerátorů 1, 3, 5, do druhé pak sudých parogenerátorů 2, 4, 6. Parovody jsou osazeny dvojicí armatur (vzduchem ovládaná rychločinná armatura a uzavírací elektroarmatura), které jsou za normálního i abnormálního provozu otevřené. Sekční armatury na hlavním parním kolektoru jsou rovněž v průběhu normálního i abnormálního provozu otevřené a hlavní parní kolektor tvoří propojení všech 6 parogenerátorů. Každá polovina hlavního parního kolektoru je vybavena přepouštěcí stanicí do atmosféry, což je regulační elektroarmatura, sloužící k přímému odvodu páry z kolektoru do atmosféry. Umožňuje tak odvod zbytkového tepla přes parogenerátor až do úrovně bodu varu vody při atmosférickém tlaku, tedy cca 100 °C v parogenerátoru.

Bezpečnostní funkci mohou přepouštěcí stanice plnit v případě připojených parogenerátorů, tj otevřených rychločinných i uzavíracích armaturách na parovodech. V režimu odvodu tepla přes přepouštěcí stanice dochází ke ztrátě chladicího média, které musí být do parogenerátorů doplňováno buď havarijními napájecími čerpadly (systém pomocného napájení parogenerátorů dle kap. 6.5), nebo superhavarijními napájecími čerpadly (systém nouzového napájení parogenerátorů dle kap. 6.8).

6.9.2.5 Pojistné ventily parogenerátorů

Každý parovod je vybaven trojicí pojistných ventilů na jeho neoddělitelné části. Primární funkcí pojistných ventilů je ochrana tlakového celku parogenerátoru před nepřípustným zvýšením tlaku v jejich sekundární části. Pojistné ventily jsou impulzní pružinové s přítlačným ovládacím vzduchem. K odvodu tepla mohou sloužit i v případě oddělení parogenerátorů od hlavního parního kolektoru, avšak jejich činnost je závislá na pomocném systému nízkotlakého vzduchu, který není klasifikován pro bezpečnostní funkce a v případě jeho ztráty pojistné ventily fungují jako pružinové. V režimu odvodu tepla přes pojistné ventily parogenerátorů dochází rovněž ke ztrátě média, která musí být kompenzována podobně jako v případě přepouštěcích stanic do atmosféry.

6.9.2.6 Redukční stanice 4,4/0,7 MPa

Redukční stanice 4,4/0,7 MPa je provozně výhodný prostředek pro odvod páry z parogenerátorů, respektive hlavního parního kolektoru, do pomocného kolektoru páry vlastní spotřeby. Jako bezpečnostní systém jej však nelze uvažovat a proto v popisu provozních režimů nebude dále uvažován.

6.9.2.7 Přepouštěcí stanice do kondenzátoru

Přepouštěcí stanice do kondenzátoru je regulační prvek s velkou hltností, který je určen k řešení přechodových jevů, spojených s velkými změnami odběru páry v nominálním provozu i (náhlé odlehčení či výpadek turbogenerátoru atd.). V úrovni DiD 1 je používán pro normální dochlazování bloku do odstávky. Pro svoji činnost potřebuje funkci dalších příslušenství turbíny (cirkulační chladicí voda, vakuový systém, kondenzaci, olejové hospodářství turbíny). Jako bezpečnostní systém jej však nelze uvažovat a proto v popisu provozních režimů nebude dále uvažován.

6.9.3 Provozní režimy systému havarijního odvodu tepla z primárního okruhu

6.9.3.1 Systém technické vody důležité

TVD patří mezi výkonné bezpečnostní systémy zařazené do úrovně DiD 3. V úrovních DiD 1 a DiD 2 je systém používán pro chlazení systémů, souvisejících s bezpečností (např. čerpadla normálního doplňování primárního okruhu a jejich olejové systémy, mazací olej hlavních cirkulačních čerpadel, vložené okruhy chlazení pohonů HRK atd.).

Provoz systému TVD se v úrovni DiD 1 a DiD 2 liší v počtu připojených spotřebičů a pracujících čerpadel. Udržování teploty TVD se provádí doplňováním surové vody při uzavřeném okruhu nebo v případě nárůstu teploty TVD lze okruh provozovat jako otevřený s rozlivem na chladící věže.

Během havarijních podmínek (úroveň DiD 3) systém TVD zajišťuje jednak chlazení bezpečnostních systémů (čerpadel TJ, TH, TQ, jejich pomocných systémů a vzduchotechniky, která zajišťuje okolní prostředí pro jejich činnost), přičemž hlavním spotřebičem se stává recirkulační výměník TQ (recirkulační fáze činnosti bezpečnostních systémů – kap. 6.3.3). Zajištění dostatečného průtoku technické vody důležité je v tomto režimu zajištěno otevřením velkých obtokových armatur, která ostatní spotřebiče TVD v tomto režimu vyzkratují a podstatná část TVD slouží k odvodu tepla z chladicího média

aktivní zóny a hermetické obálky (systémy havarijního chlazení aktivní zóny a hermetické obálky, kap. 6.2 a 6.3).

V případě ztráty napájení vlastní spotřeby z pracovních a rezervních zdrojů systém TVD zajišťuje chlazení dieselgenerátorů, přičemž tyto zpětně zajišťují napájení elektromotorů čerpadel TVD. Kvůli vzájemné závislosti TVD a dieselgenerátorů je do systému TVD zakomponována blokace vypnutí čerpadel TVD při chodu dieselgenerátorů. Do doby nastartování dieselgenerátorů a připojení čerpadel TVD na sekci ZN II je zajištěno trvalé zaplavení systému TVD pod dostatečným tlakem, což je zajištěno zásobními nádržemi TVD, připojenými k rozvodu přes mechanickou zpětnou klapku, a umístěnými na kótě + 31 m Tyto nádrže po dobu startu dieselgenerátoru a čerpadel zajišťují chlazení bezpečnostních systémů, které pak mohou plnit svoji bezpečnostní funkci.

6.9.3.2 Technologické kondenzátory s příslušenstvím

Během normálního provozu je systém provozován v pohotovostním režimu a jsou vyžadovány kontroly jeho připravenosti k provozu.

V úrovni DiD 3 musí pro zajištění odvodu tepla z primárního okruhu pomocí technologických kondenzátorů zůstat zachován průchozí hlavní parní okruh, tedy otevřené armatury na parovodech a parogenerátory připojeny k hlavnímu parnímu kolektoru. Odvod tepla z primárního okruhu přes technologický kondenzátor může probíhat ve dvou základních režimech – parovodním režimu a vodovodním režimu. Přechod z parovodního na vodovodní režim vychlazování je prováděn při teplotě v primárním okruhu cca 140 °C. Teplo je z technologických kondenzátorů odváděno do technické vody důležité (TVD).

V parovodním režimu proudí pára z parogenerátorů přes hlavní parní kolektor a redukční stanice do technologického kondenzátoru. Ten je konstrukčně uzpůsoben tak, že kondenzující pára vytváří hladinu. Kondenzát je tlakem přetlačován do hlavních napájecích nádrží a odtud přečerpáván zpět do parogenerátorů.

V případě dosažení teploty v primárním okruhu cca 140 °C se parovodní fáze stává neúčinnou (nízký odpar z parogenerátorů) a okruh přechází na vodovodní režim. V tomto režimu jsou úplně zaplněny parogenerátory včetně parovodů (všechny či pouze vybrané) a hlavní parní kolektor, redukční stanice dochlazování a technologické kondenzátory. Jako kompenzátor objemu je připojena napájecí nádrž a cirkulace média v okruhu je zajištěna dochlazovacími čerpadly.

Při použití technologického kondenzátoru nedochází ke ztrátám sekundárního chladicího média a nejsou tak zvláštní nároky na jeho doplňování do okruhu.

V úrovni DiD 1 a DiD 2 je systém používán pro vychlazování bloku při jeho odstavení (např. pro výměnu paliva), kdy po celou dobu odstávky musí být v provozu a zajišťuje odvod zbytkového tepla z aktivní zóny včetně režimu roztěsněného rektoru a jeho propojení s bazénem skladu použitého paliva zvýšenou hladinou.

6.9.3.3 Přepouštěcí stanice do atmosféry

Během abnormálního provozu (DiD 2) slouží přepouštěcí stanice do atmosféry jako pojistný prvek, kdy od zvýšení tlaku v hlavním parním kolektoru nad tlak provozní otevírají, a do činnosti se dostává regulační obvod, který tlak reguluje na zvýšenou hodnotu. Pro použití v úrovni DiD 3 mají přepouštěcí stanice ruční režim ovládání, které umožňuje jejich otevření z blokové dozorny a lze tak zajistit odvod páry z hlavního parního kolektoru i při tlaku nižším, než na který je nastaven regulační obvod.

V případě použití přepouštěcích stanic do atmosféry je chladicí sekundární médium ztráceno a je nutno zajistit jeho doplňování do okruhu prostřednictvím havarijních nebo superhavarijních napájecích čerpadel. Režim vychlazování lze použít do teploty, odpovídající varu vody při normálních podmínkách, tedy cca 100 °C v primárním okruhu.

6.9.3.4 Pojistné ventily parogenerátorů

Pro úroveň DiD 2 jsou pojistné ventily bezpečnostním prvkem, zabraňujícím nepřípustnému natlakování sekundární strany parogenerátorů.

V úrovni DiD 3 je systém je použitelný ke snížení teploty v primárním okruhu na úroveň teploty sytosti vody při otevíracím tlaku pružiny, tedy cca 240 °C. Pokud je nízkotlaký nadlehčovací vzduch k dispozici, odvod páry je možný až do teploty primárního okruhu cca 230 °C.

6.9.4 Bezpečnostní požadavky na systém havarijního odvodu tepla z primárního okruhu

6.9.4.1 Bezpečnostní klasifikace a kvalifikace

Systém TVD je zařazen mezi podpůrné systémy. Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. je systém zařazen do BT3. Z hlediska seismicity je zařazen do seismické kategorie 1a. Pro systémy 1a se vyžaduje plná funkční způsobilost včetně zachování integrity 1b v průběhu a po skončení havarijní události (zemětřesení).

Systém technologických kondenzátorů a příslušenství je z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. je zařazen do BT3. Z hlediska seismicity je zařazen do kategorie 1b.

Jednotlivá zařízení a komponenty systému TVD jsou umístěné v čerpací stanici, v potrubních kanálech výtlačných a vratných řádů, ve strojovně, v reaktorovně, v budovách dieselgenerátorů a vysokotlakých kompresorů. V reaktorovně je většina systémů chlazených TVD umístěna mimo hermetickou zónu. Většina zařízení TVD je tedy kvalifikována na normální podmínky, pouze chladiče ventilační systémů umístěných v hermetické zóně (TL10,11 atd.) musí být kvalifikované na drsné podmínky vznikající v daných prostorech při události LOCA.

6.9.4.2 Ochrana proti interním a externím hazardům

Z pohledu ochrany proti **interním hazardům** jsou systémy odvodu tepla z primárního okruhu chráněny proti (viz kap. 6.1.4.4):

- Vnitřním záplavám a tryskajícím médiím
- Vnitřním letícím předmětům, padajícím břemenům a švihům potrubí
- Vnitřnímu požáru

Systém TVD musí být seizmicky odolný do úrovně SL 2, což odpovídá maximálnímu povrchovému zrychlení na úrovni terénu 0,1 g vztaženému ke spektru odezvy na podlažích, kde je zařízení systému fyzicky umístěno (v budově centrální čerpací stanice, v potrubních kanálech výtlačných a vratných řádů, ve strojovně, v reaktorovně, v budovách dieselgenerátorů a vysokotlaké kompresorové stanice).

6.9.4.3 Ochrana proti jednoduché poruše a poruše ze společné příčiny

Systém TVD musí být řešen tak, aby pro jakoukoliv PIU uvažovanou v projektu byla splněna kritéria přijatelnosti i v případě vzniku libovolné dodatečné nezávislé jednoduché poruchy. Při zohlednění tohoto požadavku je systém TVD řešen s redundancí 3 x 100%, tzn. je tvořen třemi nezávislými systémy (včetně nádrží, čerpadel, armatur a elektrického napájení).

Systém je navíc řešen jako dvoublokový, v každé divizi jsou 2 čerpadla TVD na blok, resp. 4 čerpadla na HVB (2 čerpadla z lichého bloku a 2 čerpadla ze sudého bloku). Motory čerpadel TVD jsou napájeny z nouzových zdrojů elektrického napájení. Vzhledem řešení napájení čerpadel TVD z obou bloků a dostačující kapacitě dvou čerpadel na jeden okruh, může sousední blok plně pokrýt požadavky na chlazení TVD i v případě výpadku systému na vlastním bloku. Vnitřní diverzita není u systému TVD explicitně vyžadována.

6.9.4.4 Funkční a fyzická nezávislost jednotlivých divizí systému

Požaduje se, aby 3 redundantní systémy TVD byly fyzicky i funkčně zcela nezávislé, s čerpadly umístěnými v samostatných kobkách a kompletně oddělené jak po strojní tak po ovládací a elektronapájecí části. Systémy nesmějí být řešeny jako technologicky propojené (z pohledu plnění bezpečnostních funkcí). Tento požadavek se uplatňuje nejen na samotné výkonné bezpečnostní systémy, ale také ochranné a podpůrné systémy (napájení, SKŘ, chlazení).

6.9.5 Hodnocení provozu systému havarijního odvodu tepla z primárního okruhu

6.9.5.1 Hlavní provedené modifikace za 30 let provozu

V průběhu provozu JE Dukovany nebyly na systému provedeny žádné modifikace, které by měnily původní projektovou logiku funkce systému, avšak systém technické vody důležité byl vybaven novým základním systémem pro odvod tepla do koncového jímače – ventilátorovými věžemi. Dalšími důvody pro modifikace bylo trvalé zvyšování spolehlivosti systému a výměna opotřebovaných částí. Byly rovněž provedeny modifikace na zodolnění systému z pohledu kvalifikace na externí a interní rizika. Dále jsou uvedeny pouze významné zásahy či modifikace.

- Výměna technologických kondenzátorů za nové s titanovou trubkovnicí
- Instalace omezovačů švihu potrubí napájecí vody a páry na podélné etažérce
- Výměna částí potrubí technické vody důležité za nerezové
- Seismické zodolnění napájecích nádrží, uzlu technologických kondenzátorů a zásobních nádrží technické vody důležité
- Seismické zodolnění potrubí, armatur a servopohonů systému technické vody důležité
- Instalace nového způsobu chlazení technické vody důležité prostřednictvím ventilátorových věží

6.9.5.2 Spolehlivost a životnost systému

Systémy havarijního odvodu tepla z primárního okruhu jsou koncipovány jako výměnné a životnost je tak řešena prostřednictvím údržby a dostatečným zajištěním náhradních dílů. Rozsáhlejší degradace jsou řešeny prostřednictvím záměny části systému jeho modifikací. Tímto způsobem jsou například měněny části rozsáhlého potrubního systému TVD, kdy v případě kontrolou zjištěného zeslabení stěny potrubí jsou celé úseky nahrazovány potrubím novým s vyšší jakostí (nerez). Nejvíce namáhané části zařízení systému jsou jako náhradní díly objednány v takovém počtu, aby provoz zařízení systému byl udržen po celou dobu životnosti.

Nedošlo k žádným významným ani opakovaným poruchám, které by svědčily o zvýšeném čerpání životnosti některých částí tohoto systému.

6.9.5.3 Funkční zkoušky a kontroly

Systémy TVD, pojistných ventilů parogenerátorů a přepouštěcích stanic do atmosféry havarijního odvodu tepla jsou při normálním provozu bloku v provozu. Systém technologických kondenzátorů je ve stavu pohotovosti. Připravenost systémů k plnění bezpečnostní funkce se musí ověřovat zkouškami a kontrolami. Základními provozními kontrolami a zkouškami jsou:

- vizuální kontrola
- prosakovací kontrola
- kapilární kontrola metodou barevné defektoskopie
- kontrola prozářením
- měření korozních úbytků
- tlakové a těsnostní zkoušky vodním přetlakem
- diagnostická kontrola točivých strojů

Mimo to se periodicky ověřuje připravenost systému havarijního odvodu tepla plnit své bezpečnostní funkce prostřednictvím následujících kontrol a zkoušek:

- Kontrola provozuschopnosti čerpadel technické vody důležité chodem čerpadla (v normálním provozu jsou čerpadla TVD provozována v režimu jedno čerpadla na divizi v provozu, druhé v rezervě – stejně na obou blocích HVB)
- Chod čerpadel systému TVD společně s režimovými automatikami zajištěného napájení II kategorie a chodu dieselgenerátoru.
- Kontrola chemické kvality média TVD
- Zkoušky ochran a blokád systému TVD, dochlazovacích čerpadel a technologických kondenzátorů
- Zkoušky pojistných ventilů parogenerátorů profukem zvýšeným tlakem v hlavním parním kolektoru a pojistným vzduchem
- Zkouška přepouštěcích stanic do atmosféry profukem

Výsledky provozních zkoušek a kontrol jsou po jejich provedení vyhodnoceny a jejich vyhovující výsledek je podmínkou dalšího provozu systému. V případě zkoušek, prováděných po ukončení odstávky pro výměnu paliva je jejich vyhovující výsledek součástí průkazu připravenosti pro povolení náběhu bloku. V případě provozních zkoušek a testů, které jsou prováděny v průběhu normálního provozu, musí být výsledek úspěšný, jinak vede k identifikaci neshody a nutnosti provést nápravná opatření. Tato skutečnost se promítne do hodnocení spolehlivosti systému dle kap. 6.2.5.2.

6.9.6 Připravenost systému havarijního odvodu tepla z primárního okruhu na další provoz

Systém technologických kondenzátorů je projektován na dobu životnosti elektrárny. Životnost se jeví dostatečná (zejména po výměně teplosměnných trubek technologických kondenzátorů za titanové) minimálně do konce projektované doby provozu bloku. Systém nevyžaduje žádné úpravy či změny a dosavadní provoz systému byl bezpečný a spolehlivý. Systém plní projektovou funkci, nevykazuje rostoucí nespolehlivost, je pravidelně kontrolován a zkoušen.

V případě technické vody důležité je systém pod pravidelnými kontrolami a části s vyčerpanou životností jsou měněny za nové.

V případě koncového jímače tepla (ventilátorových věží) se jedná o zcela nové zařízení, které je projektováno a konstruováno na celou zbytkovou dobu života elektrárny.

Dle výsledků programů řízeného stárnutí a health reportů jsou splněny předpoklady pro bezproblémový a bezpečný provoz systémů po dobu minimálně následujících 10 let.

7 Instrumentace a řízení

7.1 Úvod

Systémy kontroly a řízení (SKŘ) EDU jsou postupně od roku 2001 modernizovány, přičemž jejich většina je již ve stavu po modernizaci – dokončení modernizace na zbývajících blocích a divizích proběhne v roce 2016. V této kapitole je tedy popisován stav po obnově SKŘ.

SKŘ je možno členit do následujících skupin z hlediska jejich účelu a významnosti pro jadernou bezpečnost:

- Ochranné bezpečnostní systémy SKŘ.
- Systémy SKŘ důležité pro bezpečné odstavení a udržení bloku ve stavu bezpečného odstavení.
- Důležité řídicí systémy související s bezpečností.
- Blokády a ostatní ovládání důležitá pro bezpečnost.
- Informační systémy, Diagnostické systémy.

- Systémy radiační kontroly.
- Důležité podpůrné systémy pro SKŘ.
- Systémy SKŘ nedůležité pro bezpečnost.

Do každé skupiny se řadí množství jednotlivých systémů SKŘ které jsou popsány níže.

Pro systémy SKŘ EDU jsou platné požadavky české legislativy a státního dozoru a relevantních norem. Tyto požadavky a jejich plnění jsou uvedeny rovněž níže pro každý z popsaných systémů. Požadavky na vlastnosti systémů jsou dány především jejich bezpečnostní významností, která je vyjádřena pro SKŘ EDU zařazením funkcí systémů a následně jejich zařízení do kategorií dle ČSN IEC 61226. Nejvyšší požadavky jsou kladeny na systémy kategorie A – zde jsou implementovány funkce, které mají zásadní úlohu při dosahování nebo udržování bezpečného stavu jaderné elektrárny. Systémy, v nichž jsou implementovány funkce kategorie B, mají doplňující úlohu k funkcím kat. A při dosahování nebo udržování bezpečnosti a představují především systémy vyžadované až po dosažení bezrizikového ustáleného stavu. Systémy kategorie C implementují funkce, které mají nepřímou nebo pomocnou úlohu při udržování bezpečnosti jaderné elektrárny (JE).

Zařazení funkcí a následně systémů SKŘ do jednotlivých kategorií je provedeno tak, že odpovídá koncepci bezpečnostních systémů, která je popsána v kap. Error: Reference source not found, neboť musí být v souladu se strukturou technologických bezpečnostních systémů, které jsou SKŘ řízeny a monitorovány.

Systémy SKŘ provádějící projektem stanovené funkce jsou realizovány pomocí řady zařízení (hardware), jež je možno členit do celků, jejichž názvy jsou použity v následujících kapitolách popisujících jednotlivé systémy SKŘ:

DIS - digitální systém instrumentace, představující část pro sběr a zpracování signálů snímačů pro RTS, ESFAS, SAS, RLS a RCS;

DNIS - digitální systém vnější neutronové instrumentace, ve kterém jsou implementovány funkce systému EX-CORE;

NDCU - jednotky pro zpracování signálu detektorů měření neutronového výkonu;

DTPIS - digitální systém pro sběr a zpracování dat ze snímačů technologických parametrů;

TCU - jednotky pro úpravu analogových signálů teplotních měření;

PACQ - jednotka pro správu sběru parametrů; slouží pro potvrzování mezí a kalibraci neutronových měření a zadávání příznaků validity signálů čidel DIS („sensor management“);

DRPS - digitální systém ochrany reaktoru, ve kterém je implementována funkční logika) systémů RTS, ESFAS a divizně členěných funkcí SAS;

DRLS - digitální limitační systém reaktoru, ve kterém je implementována funkční logika systému RLS;

ELS - automatika postupného spouštění zátěží DG, která zahrnuje sběr a zpracování dat ze snímačů ELS a relé pro rozhraní s akčními členy;

SAS-N - ve kterém je implementována funkční logika pro divizně nečleněné funkce SAS a divizně nečleněné podpůrné funkce iniciované současně s iniciací funkcí RTS a ESFAS;

RCS - regulační systém reaktoru;

RRCS - systém ovládání regulačních kazet, který zahrnuje napájecí zdroje pohonů HRK (PNČI) a ukazatele polohy kazet HRK;

SGPS - ochranný systém PG, ve kterém jsou implementovány funkce lokálních ochran PG;

PAMS1, PAMS2 - podsystémy pohavarijního monitorovacího systému, ve kterých jsou implementovány funkce monitorování proměnných bloku při havarijních a pohavarijních podmínkách;

RVLIS - jednotky vyhodnocování zásoby primárního chladiva;

IDMS - systém plnící funkci rozhraní mezi modulem M1, systémem PCS a blokovou a nouzovou dozornou;

ŘSBPA, ŘSBPB, ŘSBPC - systémy ŘSB – Primár (souhrnná zkratka ŘSBP), vykonávající funkce kat. A, B, resp. C;

ŘSBSA, ŘSBSB, ŘSBSC - systémy ŘSB – Sekundár (souhrnná zkratka ŘSBS), vykonávající funkce kat. A, B, resp. C;

ŘSBTB, ŘSBTC - Řídicí systém bloku – Turbína (souhrnná zkratka ŘSBT), vykonávající funkce kat. B, resp. C;

ŘSBBB, ŘSBBC - Řídicí systém bloku – Bloková dozorna (souhrnná zkratka ŘSBB), vykonávající funkce kat. B, resp. C;

ŘSBNC - Řídicí systém bloku - Nouzová dozorna (souhrnná zkratka ŘSBN), vykonávající funkce kat. C;

ŘSBEC - Řídicí systém Blokové vlastní spotřeby;

PCS - počítačový informační systém, určený pro sběr, zpracování a zobrazování údajů z provozu bloku a aktivní zóny, a jejich archivaci;

SCORPIO-VVER - systém zpracování měření a výpočtů fyzikálních parametrů AZ;

IN-CORE - systém vnitroreaktorového měření, který provádí sběr vstupních dat z čidel umístěných uvnitř aktivní zóny, čidel vybraných technologických parametrů a logických signálů o stavu technologických zařízení a jejich předávání k dalšímu zpracování do systémů SCORPIO-VVER a PCS;

DIAG - blokový nadřazený diagnostický a informační systém;

CIMSRK - centrální informačně měřící systém radiační kontroly;

TSRK - nadstavbový terminálový systém radiační kontroly;

CISRK - nadstavbový centrální počítačový informační systém radiační kontroly.

7.2 Systémy rychlého odstavení reaktoru (RTS)

7.2.1 Účel systému

Úkolem systému RTS je automaticky iniciovat rychlé odstavení reaktoru v situacích, kdy některé provozní parametry bloku se blíží svým bezpečnostním mezním hodnotám, což je identifikováno překročením nastavených havarijních mezí. Rychlé odstavení se aktivuje též ručně tlačítky na blokové dozorně (BD) a nouzové dozorně (ND).

7.2.2 Koncepce projektového řešení

Funkce systému rychlého odstavení reaktoru jsou vykonávány fyzickými systémy DIS (včetně instrumentace), DRPS a vypínači RTS.

7.2.2.1 Digitální systém jaderné instrumentace (DIS)

Systém DIS (DTPIS + DNIS) je určen ke sběru dat, úpravě (filtraci) a zpracování signálů ze snímačů neutronového toku a ze snímačů technologických parametrů, které jsou využívány ve funkcích RTS, ESFAS, RLS a SAS. DIS je zařazen do kategorie A dle ČSN IEC 61226. Procesní jednotka systému provádí vyhodnocení vstupních dat, kontrolu validity signálů, porovnání s nastavenými mezemi a přípravu dat pro přenos do dalších systémů resp. subsystémů. Systém DIS je připojen k odpovídající přenosové sběrnici trojnásobně redundantní Bezpečnostní sítě. DIS je členěn do 3 nezávislých a identických divizí. Každá divize je připojena na jí příslušející Bezpečnostní síť.

V DIS jsou implementovány funkce systémů DNIS a DTPIS.

DNIS je určen k stanovení neutronového výkonu aktivní zóny z měření detektory umístěnými vně reaktorové nádoby, úpravě signálů z těchto detektorů tak, aby mohly být zpracovány digitálním ochranným systémem (DRPS) a zobrazeny na obou blokových dozornách, a vysílání hodnot a výsledků porovnání na Bezpečnostní síť.

DTPIS je určen ke stanovení různých technologických parametrů z měřících čidel (tlak, teplota, hladina, průtok), úpravě signálů z těchto detektorů tak, aby mohly být zpracovány digitálním ochranným systémem (DRPS) a zobrazeny na obou blokových dozornách, a vysílání hodnot a výsledků porovnání na Bezpečnostní síť.

7.2.2.2 Digitální systém ochrany reaktoru (DRPS)

V DRPS jsou integrovány funkce spojené s řízením bezpečnostních systémů a k nim přidružené funkce systémů RTS, ESFAS a SAS.

DRPS získává data ze 3 Bezpečnostních sítí a z ručního řízení. Aktivuje vypínače RTS, spouští akční členy technických prostředků zajištění bezpečnosti a posílá data do DRLS, ELS a RRCS. Všechny procesorové jednotky posílají data na Dozorovací síť.

DRPS je členěn do 3 nezávislých a identických divizí. Každá divize DRPS je členěna do dvou paralelních sad. Jedna sada zpracovává data z DIS o parametrech linie ochrany LoP-A, druhá o parametrech LoP-B. Linie ochrany LoP (A, B) jsou realizovány z důvodu zvýšení odolnosti systému – funkce zajišťující ochranu proti jednomu typu události (PIU) jsou rozděleny mezi LoP-A a LoP-B, takže jednoduchá porucha ani porucha o společné příčině (CMF) nezpůsobí úplnou ztrátu ochranné funkce.

7.2.2.3 Vypínače RTS

Vypínače RTS jsou členěny do dvou sad, obsluhovaných z různých LoP, přičemž každá z nich (tj. LoP-A i LoP-B) je sama o sobě schopna odstavit reaktor. Spínače LoP-B jsou vůči spínačům LoP-A diverzním projektovým návrhem i zařízením. Každá sada sestává z 6 spínačů (po dvou na divizi) zapojených v logice 2/3, které řídí elektrické napájení pohonů HRK. U obou typů vypínačů (LoP-A i LoP-B) jsou implementovány dva různé mechanizmy jejich ovládání – podpěťový („undervoltage“, reagující mj. na ztrátu elektrického napájení DRPS) a aktivní („shunt“); to dále zvyšuje jejich spolehlivost.

7.2.3 Provozní režimy systému

Základní bezpečnostní funkcí RTS je rychlé odstavení reaktoru (HO-1). Rychlé odstavení může být iniciováno na základě technologických signálů nebo ručně.

Příčinou rychlého odstavení mohou být následující technologické signály:

- Snížení periody neutronového výkonu v aktivní zóně (AZ).
- Překročení neutronového výkonu AZ.
- Snížení tlaku primárního okruhu (I.O) a hladiny v kompenzátoru objemu (KO).
- Snížení tlaku primárního okruhu.
- Zvýšení tlaku v hermetické zóně.
- Snížení hladiny ve dvou parogenerátorech (PG).
- Zvýšení tlakového spádu na AZ při práci 6 hlavních cirkulačních čerpadel (HCČ).
- Zvýšení tlakového spádu na AZ při práci <6 hlavních cirkulačních čerpadel (HCČ).
- Roztržení hlavního parního kolektoru (HPK).
- Výpadek 4 a více HCČ.
- Zvýšení tlaku v HPK.
- Snížení tlaku ve výtlačném kolektoru napájecích čerpadel.
- Snížení hladiny v KO.

- Zvýšení tlaku v I.O.
- Zvýšení teploty v horké větvi smyčky I.O.
- Zvýšení hladiny KO.
- Dále: rychlé odstavení manuální; od ztráty napájení ukazatelů polohy havarijních regulačních kazet (HRK); od ztráty napájení RRCS; od elektrických příčin – ztráty napájení RTS nebo vypínačů RTS.

Vlastní rychlé odstavení je provedeno zasunutím absorbčních částí havarijních regulačních kazet (HRK) do aktivní zóny a vysunutí palivových částí HRK uvnitř reaktoru mimo aktivní zónu vlivem gravitace, neboť akčním zásahem RTS je rozepnutí vypínačů napájení lineárních pohonů těchto kazet (vypínače RTS). Odpojením napájení těchto pohonů dojde k pádu HRK absorbčních částí HRK do aktivní zóny a zastavení štěpné řetězové reakce.

7.2.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Systém RTS, jakož i jeho hlavní zařízení – DIS (včetně instrumentace), DRPS a vypínače rychlého odstavení – jsou zařazeny do kategorie A dle ČSN IEC 61226 a musí plnit požadavky stanovené touto normou.

Dle legislativy platné v ČR v době obnovy tohoto systému se na systém RTS vztahuje vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. a další ustanovení a rozhodnutí SÚJB z čehož plynou především následující požadavky:

- Žádná jednoduchá porucha nezpůsobí ztrátu ochranné funkce; odpojení libovolného kanálu nezpůsobí snížení počtu kanálů na jeden.
- Ochranné systémy musí být schopny realizovat všechny bezpečnostní funkce při vzniku libovolné postulované iniciační události (PIU) při výskytu libovolné jednoduché detekovatelné poruchy a všech dalších poruch, které mohou být vyvolány touto poruchou a všech poruch a falešných zapůsobení systému, které jsou způsobeny danou PIU.
- Výše uvedená kritéria v bodě 3 musí být splněna i během testování systému a provádění oprav a údržby.
- Zařízení musí umožnit periodické zkoušky funkce nezávislých kanálů za provozu a společných částí přinejmenším při odstavení reaktoru; společné obvody musí být navrženy tak, aby možné poruchy vedly nejvýše k odstavení reaktoru, nikoliv ke ztrátě ochranné funkce.
- Zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí zajišťovat funkci při normálním a abnormálním provozu a být schopna omezovat důsledky poruch a nehod.
- Zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí být řešena tak, aby při vzniku havarijních podmínek nedošlo k jejich poškození v důsledku poruch jiných zařízení; musí být schopna snést změny prostředí spojené s těmito poruchami a chráněna proti dynamickým účinkům; musí zajistit, aby při živelných událostech nebo událostech vyvolaných lidskou činností byla schopna bezpečně odstavit reaktor a udržovat ho v podkritickém stavu, odvádět zbytkové teplo po dostatečně dlouhou dobu a zajistit že případné radioaktivní úniky nepřekročí stanovené limity.
- Zařízení musí umožňovat za provozu provádět kontroly a zkoušky funkčnosti a spolehlivosti a musí obsahovat opatření kompenzující výskyt zkouškami nezjištěných závad za provozu.
- Musí být doloženy provozní vlastnosti – funkcionalita a provozní charakteristiky; návrh musí umožnit prověřování provozních vlastností během periodických zkoušek při zachování schopnosti plnit projektové funkce.
- Musí být zaveden a dokladován systém jakosti programem zabezpečování jakosti a tento program musí dostatečně podrobně specifikovat kvalifikační kritéria pro tvorbu software pro implementaci funkcí důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti včetně postupů a procesů ověřování.
- Ochranný systém reaktoru musí být nezávislý na řídicích systémech s nižším stupněm důležitosti pro jadernou bezpečnost.

- Obsluha jaderného zařízení musí mít k dispozici včasnou, přesnou a dostatečnou informaci o stavu ochranného systému a jím řízených akčních členech a podpůrných systémech.
- Návrh bezpečnostního systému musí obsahovat zajištění jednoznačné identifikace jeho zařízení.
- Návrh a provedení ochranného systému reaktoru musí zohledňovat požadavky vyplývající ze stanovených úloh lidského činitele pro proces řízení a údržby JE.
- Musí být stanoveny požadavky na numerické hodnoty ukazatelů spolehlivosti, které vychází z bezpečnostního cíle bloku; budou dokumentovány kvantitativní ukazatele spolehlivosti a způsob provedení kvalitativní i kvantitativní analýzy spolehlivosti.
- Elektrické napájení řídicích a ochranných systémů musí umožňovat napájení z nouzového zdroje, tj. být zálohováno bez omezení výkonu po dobu potřebnou pro spolehlivou funkci systémů – systémy musí být napájeny nepřetržitě.

Kromě toho je třeba doložit plnění podmínek normy IEEE Std. 603 - Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations, zejména:

- Doložení bezpečnostní funkce a ochranného zásahu pro každou postulovanou iniciační událost (PIU) a povolovací podmínky pro každý provozní bypass.
- Doložení proměnných, které jsou sledovány pro každý ochranný zásah a jejich mezní hodnoty a rychlost změny pro zajištění ochranného zásahu a rovněž minimální počet a umístění čidel.
- Doložení podmínek ručního řízení ochranných zásahů.
- Doložení podmínek prostředí a parametrů elektrického napájení za ustáleného stavu i přechodových dějů, při kterých musí bezpečnostní systém fungovat.
- Doložení podmínek, při kterých by mohl bezpečnostní systém degradovat v plnění svých bezpečnostních funkcí a opatření pro zachování schopnosti vykonávat bezpečnostní funkce.
- Doložení metod pro stanovení spolehlivosti návrhu bezpečnostního systému a doložení všech kvalitativních a kvantitativních cílů stanovených pro návrh systému.
- Doložení kritických okamžiků a stavů bloku po vzniku události, pro které musí být spuštěn ochranný zásah, řádné dokončení bezpečnostní funkce.
- Doložení technických opatření zabraňujících neočekávanému provedení bezpečnostní funkce.
- Doložení principu dokončení ochranného zásahu – je-li automaticky nebo ručně spuštěna sekvence ochranného zásahu musí systém provést všechny její kroky až do ukončení; uvedení do normálního stavu je provedeno operátorem.
- Redundantní části bezpečnostních systémů musí být navzájem nezávislé do takové míry, která je nezbytná pro vykonání bezpečnostních funkcí během a po projektových událostech, které vyžadují vykonání těchto funkcí.
- Přenos dat mezi kanály bezpečnostního systému nebo mezi bezpečnostními systémy a ostatními systémy nesmí zabránit vykonání bezpečnostních funkcí.
- Sdělovače nezbytné pro provádění ručních činností nutných pro vykonání bezpečnostních funkcí ochranných systémů jsou součástí bezpečnostních systémů.
- Návrh bezpečnostního systému musí umožňovat administrativní kontrolu přístupu k jeho zařízením.
- Zařízení bezpečnostního systému musí být označeno pro každou redundantní část tak, aby bylo odlišitelné od ostatních redundantních částí.
- Faktory lidského činitele musí být zohledněny od počátečních fází a dále v celém procesu návrhu bezpečnostních systémů.
- Pro ty systémy, pro které byly stanoveny požadavky na kvalitativní nebo kvantitativní ukazatele spolehlivosti musí být provedeny příslušné analýzy za účelem jejich potvrzení; pro systémy na bázi počítačů musí být při doložení těchto požadavků uvažován software implementovaný v daném hardware.
- Musí být zajištěny prostředky pro automatickou iniciaci a řízení ochranných zásahů s vyjímkou těch, pro které to není požadováno v projektové základně.
- Výkonné prostředky musí být schopny přijímat automatické řídící povely a signály ručního řízení z informačních a povelových prostředků.

- Výkonné systémy musí být navrženy tak, že když jsou uvedeny v činnost, provedou své ochranné činnosti až do jejich ukončení; po resetu snímacích a povelových prvků se nesmějí výkonné systémy znovu nastavit do normálního stavu, pouze po zásahu operátora.
- Doložení dalších projektových zásad (např. diverzita).

7.2.5 Hodnocení provozu systému

Prostředky systému RTS byly modernizovány v rámci projektu Obnovy SKŘ a původní technika zaměněna za moderní prostředky na bázi počítačů.

Výše uvedené požadavky jsou plněny jednak projektovým řešením systému RTS a podpůrných systémů a jednak provozními postupy a administrativními opatřeními.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění spolehlivostních požadavků, patří především třídivizní uspořádání a redundance na úrovni divize spolu s výběrovými logikami. Podrobně je plnění spolehlivostních požadavků dokladováno v PpBZ, díl 7.1 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ, zejména v spúecifické tematické zprávě TTR 8 Kritérium jednoduché poruchy.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na udržovatelnost testovatelnost, patří implementovaná online diagnostika zařízení systému a používání externích testerů. Podrobně je plnění požadavků na testovatelnost dokladováno v PpBZ, díl 7.1 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ, zejména v tematické zprávě TTR 7 Testovatelnost.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na integritu systému, patří především aplikace fail-safe principu v řešení systému – systém při ztrátě napájení nebo ztrátě schopnosti iniciovat ochrannou funkci aktivuje odstavení reaktoru. To je zajištěno zpracováním nevěrohodných stavů vstupních signálů, aplikací výběrové logiky a online diagnostikou. Podrobně je plnění požadavků na testovatelnost dokladováno v PpBZ EDU rev2, díl 7.1 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ. Kvalifikace proti nebezpečným vlivům je dokladována v tématické zprávě TTR 9 Kvalifikace. Splnění požadavků na integritu SW systémů je dokládáno v doprovodné dokumentaci k tematickým zprávám TTR 3 Vývoj SW a TTR 4 Verifikace a validace SW a odolnost proti poruše se společnou příčinou v SW v tématické zprávě TTR 5 Chyba SW se společnou příčinou.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na nezávislost systému, patří oddělení zařízení divizí do samostatných místností. Izolace zařízení je zajištěna např. pomocí komunikace po optických vláknech. Každá divize je vybavena samostatnými snímači. Systém je nezávislý na systémech nižší kategorie díky oddělení propojení pomocí suchých kontaktů nebo komunikací po Bezpečnostní síti Nervia zajištěných proti šíření poruch. Fyzicky je systém umístěn v samostatných skříních a tím oddělen od ostatních systémů. Nezávislost systému na účincích vnějšího prostředí je zajištěna kvalifikací. Podrobně je plnění požadavků na testovatelnost dokladováno v PpBZ EDU rev2, díl 7.1 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ, zejména v tematické zprávě ITR 7.2 Ochranný systém reaktoru.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na kvalifikaci zařízení, patří existence technických prostředků pro zajištění prostředí v místnostech zařízení systému RTS. Tyto prostředky (HVAC) jsou řazeny mezi podpůrné prostředky bezpečnostních systémů a vztahují se na ně zpřísněné požadavky jako na bezpečnostní systémy. Dále je to kvalifikace na odolnost proti působení vnějších vlivů jako např. seismická událost. Podrobně je plnění požadavků na testovatelnost dokladováno v PpBZ EDU rev2, díl 7.1 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ, zejména v tematické zprávě TTR 9 Kvalifikace.

Požadavky na management jakosti jsou splněny zavedeným systémem jakosti pro celý rozsah činností a dodavatelských vztahů projektu obnovy SKŘ. Zabezpečování jakosti je souhrnně popsáno a hodnoceno v doprovodné bezpečnostní dokumentaci pro obnovu SKŘ včetně dokladů o zajištění procesů tvorby a údržby software.

Systém RTS splňuje relevantní požadavky české legislativy, požadavky SÚJB, požadavky na bezpečnostní systémy JE dle normy IEEE Std.603 a dalších relevantních mezinárodních předpisů a návodů.

7.2.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Vzhledem k nedávné celkové modernizaci tohoto systému a záměně jeho původních prostředků za moderní prostředky na bázi počítačů plní systém všechny aktuální bezpečnostní požadavky a je schopen provozu po celou zbývající životnost bloků EDU. Nepředpokládá se potřeba další modernizace a bude prováděna pouze údržba a testování tohoto systému a případně modifikace plynoucí ze souvisejících modifikací bloku.

7.3 Systémy spouštění technických prostředků pro zajištění bezpečnosti (ESFAS), Automatika postupného spouštění (ELS), Systémy ŘSB kategorie A

7.3.1 Účel systému

7.3.1.1 ESFAS

Úkolem systému ESFAS je automaticky iniciovat činnost technických prostředků pro zajištění bezpečnosti (které jsou předmětem kap. 6) v situacích, kdy některé provozní parametry bloku se blíží svým bezpečnostním mezním hodnotám, což je identifikováno překročením nastavených havarijních mezí.

7.3.1.2 ELS

ELS jakožto jedna z režimových automatik systému zajištěného napájení II. kategorie zajišťuje automatický převod napájení vlastní spotřeby z pracovních na nouzové zdroje. Je podpůrným systémem ESFAS.

7.3.1.3 ŘSB A

ŘSB kategorie A řídí bezpečnostně významné akční členy technických prostředků pro zajištění bezpečnosti a podílejí se na vykonávání bezpečnostních funkcí kategorie A.

7.3.2 Koncepce projektového řešení systému

7.3.2.1 ESFAS

Funkce ESFAS jsou vykonávány fyzickými systémy DIS (včetně instrumentace), DRPS a akčními členy. Zařízení systému ESFAS jsou tudíž shodná se zařízeními systému RTS – viz kap. 7.2.2.

7.3.2.2 ELS

ELS je členěna do tří identických a nezávislých divizí. Je založena na technologické platformě shodné se systémem DRPS (Spinline 3). Každá divize ELS se skládá ze dvou procesorových jednotek, výběrové logiky a reléové jednotky pro styk s akčními členy. Každá divize je umístěna v oddělené místnosti s ostatní divizní technikou SKŘ.

7.3.2.3 ŘSB A

Do těchto systémů patří ŘSBP A (primární okruh) a ŘSBS A (sekundární okruh). Systémy ŘSBPA a ŘSBS A jsou realizovány na "Platformě A" a jsou koncipovány a projektovány tak, že jsou provozuschopné za normálních, abnormálních i havarijních podmínek. Platformu "A" tvoří automatizační systém ZAT-RA, určený pro realizaci funkcí bezp. kategorie A. Je řešený na bázi funkčně jednoduchých přímo propojených komponent bez software. Pro logické zpracování, ovládání a výkonové spínání pohonů armatur a pro oddělení binárních signálů je použita reléová technika. Pro napájení

měření, vyhodnocení mezí a pro oddělení analogového signálu pro zařízení nižší bezpečnostní kategorie je použita polovodičová technika.

Do této platformy jsou zařazeny nejen komponenty určené pro vykonávání funkcí kategorie A, ale i další komponenty, určené pro oddělení zařízení na úrovni kategorie A a pro diagnostiku a zkoušení zařízení kategorie A.

7.3.3 Provozní režimy systému

7.3.3.1 ESFAS

Systém ESFAS automaticky ovládá řadu akčních členů technologických bezpečnostních systémů v závislosti na iniciovaném technologickém signálu, odvozenému od detekce postulovaných iniciačních událostí:

- Přetlak v boxu parogenerátorů.
- Podtlak v hermetické zóně.
- Velký únik.
- Střední únik.
- Malý únik.
- Ztráta napájecí vody.
- Roztržení hlavního parního kolektoru.

Dále zařízení systému ESFAS zajišťuje spouštění prostředků pro podpůrné zásahy (SAS), které jsou zařazeny do nižší kategorie než bezpečnostní systémy aktivované výše uvedenými funkcemi. Tyto prostředky jsou aktivovány na základě signálů:

- Roztržení hlavního napájecího kolektoru nebo hlavního výtlačného kolektoru.
- Prasknutí parovodu parogenerátoru.

7.3.3.2 ELS

ELS přijímá a zpracovává binární údaje z rozvaděčů 6 kV (poruchy v napětí a frekvenci), vypínačů DG, DRPS (ESFAS) a ručního řízení:

- Pokles napětí pod 0,7 Unom na sekci 6 kV (2x v každé divizi).
- Pokles frekvence pod pod 47 Hz/6 s na sekci 6 kV (2x v každé divizi).
- Přítomnost napětí na sekci 6 kV.
- Přítomnost napětí III. kat.
- Vypínač dieselgenerátoru zapnut.
- Aktivace ELS – ESFAS needed.

Systém ELS zajišťuje časové rozložení připojování zátěží k přípojnicím zajištěného napájení 6 kV a 0,4 kV II. kategorie a start dieselgenerátoru (DG) a jeho postupné zatížení spuštěním důležitých spotřebičů tak, aby při rozběhu připojovaných pohonů nedošlo k nepřípustnému přetížení DG a jeho následnému odstavení ochranami nebo k jeho poškození. V průběhu své činnosti blokuje řízení důležitých spotřebičů ve vazbě na technologické podmínky a postupné zatěžování DG.

7.3.3.3 ŘSB A

Systém ŘSB A provádí funkce:

- automatického dvoustavového řízení komponent primárního a sekundárního okruhu,
- ovládání pneumaticky řízených armatur,
- skupinové ovládání,
- digitalizaci signálů,
- monitorování a diagnostiku.

Jedná se především o ovládání rychločinných armatur na hranici hermetické zóny, ovládání čerpadel bezpečnostních systémů dle kap. 6 a impulsních pojistných ventilů kompenzátoru objemu.

7.3.4 Bezpečnostní požadavky na systém ESFAS, ELS, ŘSB A

Systém ESFAS a jeho hlavní zařízení (DIS (včetně instrumentace), DRPS), systém ELS a jeho zařízení i systém ŘSB A a jeho zařízení jsou zařazeny do kategorie A dle ČSN IEC 61226 a musí plnit požadavky stanovené touto normou.

Dle legislativy platné v ČR v době obnovy tohoto systému se na tyto systémy vztahuje vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. a další ustanovení a rozhodnutí SÚJB z čehož plynou především následující požadavky:

- žádná jednoduchá porucha nezpůsobí ztrátu ochranné funkce; odpojení libovolného kanálu nezpůsobí snížení počtu kanálů na jeden.
- Ochranné systémy musí být schopny realizovat všechny bezpečnostní funkce při vzniku libovolné PIU při výskytu libovolné jednoduché detekovatelné poruchy a všech dalších poruch, které mohou být vyvolány touto poruchou a všech poruch a falešných zapůsobení systému, které jsou způsobeny danou PIU.
- Výše uvedená kritéria v předchozím bodě musí být splněna i během testování systému a provádění oprav a údržby.
- Zařízení musí umožnit periodické zkoušky funkce nezávislých kanálů za provozu a společných částí přinejmenším při odstavení reaktoru.
- Zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí zajišťovat funkci při normálním a abnormálním provozu a schopna omezovat důsledky poruch a nehod.
- Zařízení musí umožňovat za provozu provádět kontroly a zkoušky funkčnosti a spolehlivosti a musí obsahovat opatření kompenzující výskyt zkouškami nezjištěných závad za provozu.
- Musí být doloženy provozní vlastnosti – funkcionalita a provozní charakteristiky; návrh musí umožnit prověřování provozních vlastností během periodických zkoušek při zachování schopnosti plnit projektové funkce.
- Musí být zaveden a dokladován systém jakosti programem zabezpečování jakosti a tento program musí dostatečně podrobně specifikovat kvalifikační kritéria pro tvorbu software pro implementaci funkcí důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti včetně postupů a procesů ověřování.
- Ochranný systém musí být nezávislý na řídicích systémech s nižším stupněm důležitosti pro jadernou bezpečnost.
- Obsluha jaderného zařízení musí mít k dispozici včasnou, přesnou a dostatečnou informaci o stavu ochranného systému a jím řízených akčních členech a podpůrných systémech.
- Návrh bezpečnostního systému musí obsahovat zajištění jednoznačné identifikace jeho zařízení.
- Návrh a provedení ochranného systému reaktoru musí zohledňovat požadavky vyplývající ze stanovených úloh lidského činitele pro proces řízení a údržby JE.
- Musí být stanoveny požadavky na numerické hodnoty ukazatelů spolehlivosti, které vychází z bezpečnostního cíle bloku; budou dokumentovány kvantitativní ukazatele spolehlivosti a způsob provedení kvalitativní i kvantitativní analýzy spolehlivosti.
- Elektrické napájení řídících a ochranných systémů musí umožňovat napájení z nouzového zdroje, tj. být zálohováno bez omezení výkonu po dobu potřebou pro spolehlivou funkci systémů – systémy musí být napájeny nepřetržitě.

Kromě toho je třeba doložit plnění podmínek normy IEEE Std. 603 - Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations, zejména:

- doložení bezpečnostní funkce a ochranného zásahu pro každou postulovanou iniciační událost (PIU) a povolovací podmínky pro každý provozní bypass.
- Doložení proměnných, které jsou sledovány pro každý ochranný zásah a jejich mezní hodnoty a rychlost změny pro zajištění ochranného zásahu a rovněž minimální počet a umístění čidel.
- Doložení podmínek ručního řízení ochranných zásahů.
- Doložení podmínek prostředí a parametrů elektrického napájení za ustáleného stavu i přechodových dějů, při kterých musí bezpečnostní systém fungovat.

- Doložení podmínek, při kterých by mohl bezpečnostní systém degradovat v plnění svých bezpečnostních funkcí a opatření pro zachování schopnosti vykonávat bezpečnostní funkce.
- Doložení metod pro stanovení spolehlivosti návrhu bezpečnostního systému a doložení všech kvalitativních a kvantitativních cílů stanovených pro návrh systému.
- Doložení kritických okamžiků a stavů bloku po vzniku události, pro které musí být spuštěn ochranný zásah a pro řádné dokončení bezpečnostní funkce.
- Doložení technických opatření zabraňujících neočekávanému provedení bezpečnostní funkce.
- Doložení principu dokončení ochranného zásahu – je-li automaticky nebo ručně spuštěna sekvence ochranného zásahu musí systém provést všechny její kroky až do ukončení; uvedení do normálního stavu je provedeno operátorem.
- Redundantní části bezpečnostních systémů musí být navzájem nezávislé do takové míry, která je nezbytná pro vykonání bezpečnostních funkcí během a po projektových událostech, které vyžadují vykonání těchto funkcí.
- Přenos dat mezi kanály bezpečnostního systému nebo mezi bezpečnostními systémy a ostatními systémy nesmí zabránit vykonání bezpečnostních funkcí.
- Sdělovače nezbytné pro provádění ručních činností nutných pro vykonání bezpečnostních funkcí ochranných systémů jsou součástí bezpečnostních systémů.
- Návrh bezpečnostního systému musí umožňovat administrativní kontrolu přístupu k jeho zařízením.
- Zařízení bezpečnostního systému musí být označeno pro každou redundantní část tak, aby bylo odlišitelné od ostatních redundantních částí.
- Faktory lidského činitele musí být zohledněny od počátečních fází a dále v celém procesu návrhu bezpečnostních systémů.
- Pro ty systémy, pro které byly stanoveny požadavky na kvalitativní nebo kvantitativní ukazatele spolehlivosti musí být provedeny příslušné analýzy za účelem jejich potvrzení; pro systémy na bázi počítačů musí být při doložení těchto požadavků uvažován software implementovaný v daném hardware.
- Musí být zajištěny prostředky pro automatickou iniciaci a řízení ochranných zásahů s vyjímkou těch, pro které to není požadováno v projektové základně.
- Výkonné prostředky musí být schopny přijímat automatické řídící povely a signály ručního řízení z informačních a povelových prostředků.
- Výkonné systémy musí být navrženy tak, že když jsou uvedeny v činnost, provedou své ochranné činnosti až do jejich ukončení; po resetu snímacích a povelových prvků se nesmějí výkonné systémy znovu nastavit do normálního stavu, pouze po zásahu operátora.
- Doložení dalších projektových zásad (např. diverzita).

7.3.5 Hodnocení provozu systému ESFAS, ELS, ŘSB A

Uvedené požadavky jsou plněny jednak projektovým řešením systémů ESFAS, ELS a ŘSB A a podpůrných systémů a jednak provozními postupy a administrativními opatřeními.

Vzhledem k tomu, že systém ESFAS je implementován v totožné technice jako systém RTS, platí pro něj stejné závěry pro plnění požadavků, jak jsou uvedeny kap. 7.2.5.

Pro systém ELS vzhledem k použití stejného typu techniky lze použít rovněž závěry kap. 7.2.5 odkazující se na další dokumentaci, ve které je popsáno i řešení ELS.

Pro systém ŘSB A je dokladováno plnění požadavků především v PpBZ díl 7 a dále v dokumentaci Obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění spolehlivostních požadavků, patří především třídivizní uspořádání a redundance na úrovni divize spolu s výběrovými logikami.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na udržovatelnost testovatelnost, patří implementovaná online diagnostika zařízení systému a používání externích testerů.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na integritu systému, patří především aplikace fail-safe principu v řešení systému - to je zajištěno zpracováním nevěrohodných stavů vstupních signálů, aplikací výběrové logiky a online diagnostikou.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na nezávislost systému, patří oddělení zařízení divizí do samostatných místností a dále oddělení od systémů nižší kategorie.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na kvalifikaci zařízení, patří existence technických prostředků pro zajištění prostředí v místnostech zařízení systému. Tyto prostředky (HVAC) jsou řazeny mezi podpůrné prostředky bezpečnostních systémů a vztahují se na ně zpřísněné požadavky jako na bezpečnostní systémy. Dále je to kvalifikace na odolnost proti působení vnějších vlivů jako např. seismická událost.

Požadavky na management jakosti jsou splněny zavedeným systémem jakosti pro celý rozsah činností a dodavatelských vztahů projektu obnovy SKŘ. Zabezpečování jakosti je souhrnně popsáno a hodnoceno v doprovodné bezpečnostní dokumentaci pro Obnovu SKŘ včetně dokladů o zajištění procesů tvorby a údržby software.

Systémy ESFAS, ELS a ŘSB A splňují relevantní požadavky české legislativy, požadavky SÚJB, požadavky na bezpečnostní systémy JE dle normy IEEE Std.603 a dalších relevantních mezinárodních předpisů a návodů.

7.3.6 Vyhodnocení připravenosti systému ESFAS, ELS, ŘSB A na další provoz

Vzhledem k nedávné celkové modernizaci těchto systémů a záměně jejich původních prostředků za moderní prostředky na bázi počítačů plní systém všechny aktuální bezpečnostní požadavky a jsou schopny provozu po celou zbývající životnost bloků EDU. Nepředpokládá se potřeba další modernizace a bude prováděna pouze údržba a testování těchto systémů a případně modifikace plynoucí ze souvisejících modifikací bloku.

7.4 Systémy nutné pro bezpečné odstavení

7.4.1 Účel systému

Bezpečné odstavení jsou schopny zajistit systémy zařazené v kat. A dle ČSN IEC 61226 – systém RTS (popsaný v kap. 7.2) a systémy ESFAS a ŘSBP A (popsané v kap. 7.3).

Bezpečné odstavení jsou dále schopny zajistit systémy zařazené v kat. B a C dle ČSN IEC 61226, které jsou k tomu účelu používány za normálního provozu, nebo je jejich činnost doplňková k činnosti bezpečnostních systémů. Jedná se z hlediska SKŘ o systémy:

- RCS – regulační systém reaktoru, popsaný v kap. 7.7.
- RRCS – systém ovládání regulačních kazet (HRK), popsaný v kap. 7.7.
- ŘSB B – řídící systém bloku zařazený v kat. B.

Z technologického hlediska se jedná o další systémy, popisované podrobně zejména v kap. 5, 6, 8, 9 a 10:

- systém doplňování, odpouštění a borové regulace,
- systém dochlazování bloku,
- přepouštěcí stanice do atmosféry,

- systém havarijního napájení parogenerátorů,
- systém technické vody důležité.

Podpůrné systémy důležité pro odstavení bloku a jeho udržování v bezpečně odstaveném stavu jsou především:

- systém elektrického napájení,
- ventilace blokové a nouzové dozorny,
- ventilační systém prostorů, v nichž jsou umístěna zařízení určená pro bezpečné odstavení,
- systém dopravy a skladování paliva DG.

Zobrazování proměnných nutných pro bezpečné odstavení bloku je zajištěno:

- systémem pohavarijního monitorování PAMS (kap. 7.5),
- počítačovým informačním systémem PCS (kap. 7.5),
- zobrazovacími přístroji blokové a nouzové dozorny.

7.4.2 Koncepce projektového řešení systému

7.4.2.1 ŘSB B

Skupina systémů ŘSB B je realizována na "Platformě B" – ZAT-PRIMIS na bázi programovatelných prostředků. Systémy jsou realizovány jako redundantní a jsou vybaveny on-line diagnostikou a periodickým testováním. Architektura redundantních kanálů je dvou nebo tříkanálová s výběrem 1 ze 2 nebo 2 ze 3.

7.4.2.2 Systém doplňování, odpouštění a borové regulace - SKŘ

Akčními členy jsou doplňovací čerpadla s předřazenými čerpadly, příslušné armatury a regulační ventily a čerpadla borového koncentrátu. Akční členy tohoto systému jsou ovládány z panelů blokové a nouzové dozorny. Regulační funkce jsou řízeny systémem ŘSBP kategorie C. Z technologického hlediska je systém podrobně popsán v kap. 5.5.5 této Zprávy.

7.4.2.3 Systém dochlazování bloku

Zajišťuje normální dochlazování bloku i při výpadku nezajištěného elektrického napájení sítě vlastní spotřeby pomocí regulačních stanic, přepouštěcích stanic do kondezátoru, technologických kondenzátorů a dochlazovacích čerpadel.

Automatické řízení regulačních stanic zajišťuje systém ŘSBS B. Automatické řízení přepouštěcích stanic do kondenzátoru je vykonáváno systémem ŘSBT B, C. Automatické řízení a regulace dalších akčních členů je zajištěno systémem ŘSBS C. Ruční řízení je prováděno ovladači z panelů blokové a nouzové dozorny. Z technologického hlediska je systém podrobně popsán v kap. 5.4.6 této Zprávy.

7.4.2.4 Přepouštěcí stanice do atmosféry

Hlavní parní kolektor je opatřen dvojicí přepouštěcích stanic do atmosféry, které poskytují prostředek odvodu tepla z reaktoru vypouštěním páry parogenerátorů výfukem do atmosféry a tím umožňují dosažení a udržení podmínek bezpečného odstavení. Z technologického hlediska je systém podrobně popsán v kap. 5.4.12 a 6.9.

Regulační obvody přepouštěcích stanic jsou součástí systémů ŘSBS C, řízení akčních členů stanic je vykonáváno systémem ŘSBS B a ručně dálkově z panelů blokové a nouzové dozorny.

7.4.2.5 Systém havarijního napájení parogenerátorů

V nominálním provozu je zajištěno napájení parogenerátorů systémem elektronapájecích čerpadel (ENČ) a dvojice havarijních napájecích čerpadel (HNČ) je ve stavu pohotovosti. Z technologického hlediska je systém podrobně popsán v kap. 5.4.8.

Start HNČ je zajištěn systémem ESFAS při signálu ztráta napájecí vody. Pro účely bezpečného odstavení a udržení v bezpečném odstaveném stavu jsou akční členy související s HNČ řízeny systémem ŘSBS B, regulační obvody regulačních ventilů v ŘSBS C. Dále je možné akční členy ovládat ručně dálkově z panelů blokové a nouzové dozorny.

7.4.2.6 Systém technické vody důležité (TVD)

Systém TVD zásobuje spotřebiče, které vyžadují nepřetržitou dodávku chladící vody v nominálních i havarijních režimech. Systém se skládá z čerpací stanice TVD, vnějších rozvodů a rozvodů ve strojovně, v primárním okruhu a v reaktorovně. Nejdůležitějšími spotřebiči TVD jsou například systém havarijního chlazení aktivní zóny, sprchový systém, systémy pro udržení bloku v bezpečném odstavení, chlazení vzduchu v důležitých místnostech SKŘ a rovněž chlazení hlavních cirkulačních čerpadel. Z technologického hlediska je systém podrobně popsán v kap. 9.2.1.

Chlazení TVD bylo realizováno v rámci chladicích věží s přirozeným tahem, avšak nyní je doplněno o koncový jímač tepla na bázi ventilátorových věží, který je primárním prostředkem odvodu tepla TVD.

Systém TVD je rozdělen na tři samostatné podsystémy po čtyřech čerpadlech TVD, z nichž každý je vybaven autonomním řízením.

Bezpečnostní funkce vykonávané akčními členy systému TVD jsou iniciované systémy ESFAS a ELS. Provozní řízení zajišťuje systém ŘSBS B a dále automatizační systém centrální čerpací stanice založený na reléové technice a diskrétních prvcích.

7.4.3 Provozní režimy systému ŘSB B

7.4.3.1 ŘSB B

ŘSB kategorie B je skupina systémů:

- ŘSBP B je řídicí systém bloku, ovládající akční členy na primárním okruhu a souvisejících systémech.
- ŘSBS B je řídicí systém bloku, ovládající akční členy na sekundárním okruhu a souvisejících systémech.
- ŘSBT B je řídicí systém bloku, ovládající akční členy na turbině a souvisejících systémech.
- ŘSBB B je řídicí systém bloku, umístěný na BD, který poskytuje funkce ovládání na volbu a poruchové signalizace.

Ostatní systémy nutné pro bezpečné odstavení jsou technologickými systémy a jejich řízení je zajišťováno SKŘ popsaným samostatně v této zprávě (bezpečnostními systémy, ŘSB B,C atd.).

7.4.4 Bezpečnostní požadavky na systém ŘSB B

Systém ŘSB B jsou zařazeny do kategorie B dle ČSN IEC 61226 a musí plnit požadavky stanovené touto normou.

Dle legislativy platné v ČR v době obnovy tohoto systému se na systém ŘSB B vztahuje vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. a další ustanovení a rozhodnutí SÚJB z čehož plynou především následující požadavky:

- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí zajišťovat funkci při normálním a abnormálním provozu a musí být schopna omezovat důsledky poruch a nehod.

- Zařízení musí umožňovat za provozu provádět kontroly a zkoušky funkčnosti a spolehlivosti a musí obsahovat opatření kompenzující výskyt zkouškami nezjištěných závad za provozu.
- Musí být zaveden a dokladován systém jakosti programem zabezpečování jakosti a tento program
- musí dostatečně podrobně specifikovat kvalifikační kritéria pro tvorbu software pro implementaci funkcí důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti včetně postupů a procesů ověřování.
- Zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí být řešena tak, aby při vzniku havarijních podmínek nedošlo k jejich poškození v důsledku poruch jiných zařízení; musí být schopna snést změny prostředí spojené s těmito poruchami a chráněna proti dynamickým účinkům; musí zajistit, aby při živelných událostech nebo událostech vyvolaných lidskou činností byla schopna bezpečně odstavit reaktor a udržovat ho v podkritickém stavu, odvádět zbytkové teplo po dostatečně dlouhou dobu a zajistit že případné radioaktivní úniky nepřekročí stanovené limity.
- Ochranné a řídicí systémy musí být odděleny tak, aby porucha řídicích systémů neovlivnila schopnost ochranných systémů vykonat požadovanou bezpečnostní funkci.
- Musí být stanoveny požadavky na numerické hodnoty ukazatelů spolehlivosti, které vychází z provozních hledisek pro systémy, které nejsou bezpečnostní; budou dokumentovány kvantitativní ukazatele spolehlivosti a způsob provedení kvalitativní i kvantitativní analýzy spolehlivosti.
- Elektrické napájení řídicích a ochranných systémů musí umožňovat napájení z nouzového zdroje, tj. být zálohováno bez omezení výkonu po dobu potřebou pro spolehlivou funkci systémů – systémy musí být napájeny nepřetržitě.

7.4.5 Hodnocení provozu systému ŘSB B

Prostředky systému ŘSB B byly modernizovány v rámci projektu Obnovy SKŘ a původní technika zaměněna za moderní prostředky na bázi počítačů.

Výše uvedené požadavky jsou plněny jednak projektovým řešením systému ŘSB B a podpůrných systémů a jednak provozními postupy a administrativními opatřeními.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění spolehlivostních požadavků, patří především třídivizní uspořádání a redundance na úrovni divize spolu s výběrovými logikami. Podrobně je plnění spolehlivostních požadavků dokladováno v PpBZ EDU rev2, díl 7.4 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na udržovatelnost testovatelnost, patří implementovaná online diagnostika zařízení systému. Podrobně je plnění požadavků na testovatelnost dokladováno v PpBZ EDUrev2, díl 7.4 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na integritu systému, patří především aplikace výběrové logiky a online diagnostika. Podrobně je plnění požadavků na integritu dokladováno v PpBZ EDU rev2, díl 7.4 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na nezávislost systému, patří oddělení zařízení systému od ostatních systémů (zejména nižší kategorie). Nezávislost systému na účincích vnějšího prostředí je zajištěna kvalifikací. Podrobně je plnění požadavků na nezávislost dokladováno v PpBZ EDU rev2, díl 7.4 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na kvalifikaci zařízení, patří existence technických prostředků pro zajištění prostředí v místnostech zařízení systému. Dále je to kvalifikace na odolnost proti působení vnějších vlivů jako např. seismická událost. Podrobně je plnění požadavků na kvalifikaci dokladováno v PpBZ EDU rev2, díl 7.4 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Požadavky na management jakosti jsou splněny zavedeným systémem jakosti pro celý rozsah činností a dodavatelských vztahů projektu obnovy SKŘ. Zabezpečování jakosti je souhrnně popsáno a hodnoceno v doprovodné bezpečnostní dokumentaci pro obnovu SKŘ včetně dokladů o zajištění procesů tvorby a údržby software.

Systém ŘSB B splňuje relevantní požadavky české legislativy, požadavky SÚJB, požadavky na systémy související s jadernou bezpečností a dalších relevantních národních a mezinárodních předpisů a návodů.

7.4.6 Vyhodnocení připravenosti systému ŘSB B na další provoz

Vzhledem k nedávné celkové modernizaci tohoto systému a záměně jeho původních prostředků za moderní prostředky na bázi počítačů plní systém všechny aktuální bezpečnostní požadavky a je schopen provozu po celou zbývající životnost bloků EDU. Nepředpokládá se potřeba další modernizace a bude prováděna pouze údržba a testování tohoto systému a případně modifikace plynoucí ze souvisejících modifikací bloku.

7.5 Informační systémy důležité pro bezpečnost

7.5.1 Pohavarijní monitorovací systém (PAMS)

7.5.1.1 Účel systému PAMS

Systém pohavarijního monitorování PAMS je zobrazovací systém, který poskytuje informace o parametrech elektrárny vyžadované operátorem na dozorně během havarijních a pohavarijních situací k tomu, aby:

- provedl zamýšlené ruční zásahy k dosažení bezpečného odstavení bloku (rovněž pro „diverzní" ruční iniciování ochranných zásahů),
- určil, zda systémy elektrárny důležité z hlediska jaderné bezpečnosti pracují odpovídajícím způsobem,
- vyhodnotil integritu bariér proti úniku radioaktivity – pokrytí paliva, tlakové hranice primárního okruhu, a systému hermetických prostorů,
- vyhodnotil velikost jakéhokoli úniku radioaktivních látek.

7.5.1.2 Koncepce projektového řešení systému PAMS

Systém PAMS je dle bezpečnostního návodu US NRC RG 1.97 Criteria for Accident Monitoring Instrumentation členěn podle významnosti monitorovaných parametrů na tři kategorie, čemuž odpovídá do značné míry i členění technických prostředků pro implementaci funkcí systému. Sledované parametry jsou dle RG 1.97 členěny na typy A-E, jak je uvedeno dále v jejich přiřazení jednotlivým kategoriím PAMS.

- PAMS kategorie 1 je realizován v samostatných prostředcích na platformě VME. Je realizován jako třídivizní a dle ČSN IEC 61226 je zařazen v kategorii B. Těmito prostředky jsou monitorovány nejdůležitější parametry typu:
  - A. Informace pro manuálně řízené zásahy.
  - B. Stav bezpečnostních funkcí.
  - C. Monitorování bariér.
  - E. Radiační monitoring.
- PAMS kategorie 2 je realizován rovněž na platformě VME v provedení společném pro všechny divize a dle ČSN IEC 61226 je zařazen v kategorii C. Těmito prostředky jsou monitorovány parametry především typu:
  - B. Stav bezpečnostních funkcí.
  - D. Stav jednotlivých bezpečnostních systémů.
- PAMS kategorie 3 je realizován jako software v rámci systému PCS (viz kap. 7.5.3) a monitoruje především parametry typu:
  - B. Stav bezpečnostních funkcí.
  - C. Monitorování bariér.
  - D. Stav jednotlivých bezpečnostních systémů.

7.5.1.3 Provozní režimy systému PAMS

Systém PAMS je trvale v provozu. Funkcí PAMS je poskytování informací o stavu bloku obsluze, PAMS neprovádí žádné ochranné (akční) zásahy. Jeho primární funkce je poskytování informací během a po havarijních situacích.

Systém PAMS1 a PAMS2 je za tím účelem vybaven vlastními displejovými zobrazovači pro zobrazení sady displejů s technologickými parametry. Parametry jsou obnovovány s frekvencí 1 sekunda. Měřené údaje jsou označeny časovou značkou a archivovány v systému PCS. Kromě toho jsou vybrané nejdůležitější parametry zaznamenávány na papír pomocí elektromechanických zapisovačů umístěných v BD a ND.

7.5.1.4 Bezpečnostní požadavky na systém PAMS

Základním podkladem pro specifikaci požadavků na pohavarijní monitorování je předpis RG 1.97. Ten stanovuje kategorie PAMS 1-3, které jsou přiřazeny ke kategoriím normy ČSN IEC 61226 tak, že funkce a prostředky kategorie 1 jsou v kategorii B dle ČSN IEC 61226, prostředky kategorie 2 v kategorii C a prostředky kategorie 3 nejsou dle ČSN IEC 61226 klasifikovány.

Dle legislativy platné v ČR v době obnovy tohoto systému se na systém PAMS (zejména PAMS1) vztahuje vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. a další ustanovení a rozhodnutí SÚJB z čehož plynou především následující požadavky:

- zařízení musí umožňovat za provozu provádět kontroly a zkoušky funkčnosti a spolehlivosti a musí obsahovat opatření kompenzující výskyt zkouškami nezjištěných závad za provozu;
- musí být zaveden a dokladován systém jakosti programem zabezpečování jakosti a tento program;
- musí dostatečně podrobně specifikovat kvalifikační kritéria pro tvorbu software pro implementaci funkcí důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti včetně postupů a procesů ověřování.
- Zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí být řešena tak, aby při vzniku havarijních podmínek nedošlo k jejich poškození v důsledku poruch jiných zařízení; musí být schopna snést změny prostředí spojené s těmito poruchami a chráněna proti dynamickým účinkům.
- Ochranné a řídicí systémy musí být odděleny tak, aby porucha řídicích systémů neovlivnila schopnost ochranných systémů vykonat požadovanou bezpečnostní funkci.
- Musí být stanoveny požadavky na numerické hodnoty ukazatelů spolehlivosti, které vychází z provozních hledisek pro systémy, které nejsou bezpečnostní; budou dokumentovány kvantitativní ukazatele spolehlivosti a způsob provedení kvalitativní i kvantitativní analýzy spolehlivosti.
- Elektrické napájení řídících a ochranných systémů musí umožňovat napájení z nouzového zdroje, tj. být zálohováno bez omezení výkonu po dobu potřebou pro spolehlivou funkci systémů – systémy musí být napájeny nepřetržitě.

Kromě těchto požadavků jsou aplikovány na PAMS1 přiměřeným způsobem požadavky normy IEEE Std. 603 - Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations.

7.5.1.5 Hodnocení provozu systému PAMS

Uvedené požadavky jsou plněny jednak projektovým řešením systémů PAMS a podpůrných systémů a jednak provozními postupy a administrativními opatřeními.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění spolehlivostních požadavků, patří především třídivizní uspořádání PAMS1 a redundance na úrovni divize.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na udržovatelnost testovatelnost, patří implementovaná online diagnostika zařízení systému.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na nezávislost systému, patří oddělení zařízení divizí do samostatných místností a dále oddělení od systémů nižší kategorie.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na kvalifikaci zařízení, patří existence technických prostředků pro zajištění prostředí v místnostech zařízení systému. Tyto prostředky (HVAC) jsou řazeny mezi podpůrné prostředky bezpečnostních systémů a vztahují se na ně zpřísněné požadavky jako na bezpečnostní systémy. Dále je to kvalifikace na odolnost proti působení vnějších vlivů jako např. seismická událost.

Požadavky na management jakosti jsou splněny zavedeným systémem jakosti pro celý rozsah činností a dodavatelských vztahů projektu obnovy SKŘ. Zabezpečování jakosti je souhrnně popsáno a hodnoceno v doprovodné bezpečnostní dokumentaci pro Obnovu SKŘ včetně dokladů o zajištění procesů tvorby a údržby software.

Systémy PAMS splňují relevantní požadavky české legislativy, požadavky SÚJB, požadavky na systém pohavarijního monitorování dle návodu US NRC RG 1.97 a další relevantní předpisy a návody.

7.5.1.6 Vyhodnocení připravenosti systému PAMS pro další provoz

Systém PAMS je nově vybudován v rámci Obnovy SKŘ – původně nebyl součástí projektu EDU. Systém je realizován na bázi moderních prostředků a plní všechny aktuální požadavky. Nepředpokládá se potřeba modernizace s výjimkou případného rozšiřování monitorovaných parametrů vlivem vyčerpání rezerv systému.

7.5.2 Systém zobrazování bezpečnostních parametrů (SPDS)

7.5.2.1 Účel systému SPDS

Účelem systému SPDS je poskytování důležitých informací obsluze bloku především při abnormálních provozních podmínkách. Sděluje hlavní parametry vážící se na kritické bezpečnostní funkce jako jsou: řízení reaktivity, celistvost (integrita) chladicího systému reaktoru, chlazení aktivní zóny reaktoru a odvod tepla z primárního okruhu, kontrola radioaktivity a celistvost (integrita) kontejnmentu.

7.5.2.2 Koncepce projektového řešení systému SPDS

SPDS není realizován jako samostatný systém, jeho funkce vykonává PCS.

7.5.3 Počítačový Informační Systém (PCS) a Systém vnitroreaktorových měření (IN-CORE) a Systém monitorování aktivní zóny reaktoru (Scorpio)

7.5.3.1 Účel systému

Úkolem informačního výpočetního systému PCS je sběr dat z primárního a sekundárního okruhu jaderné elektrárny, jejich zpracování a předání zpracovaných informací přes standardní periférie systému (operátorské stanice, tiskárny, archivační média). PCS vykonává také funkce systému pro zobrazování bezpečnostních parametrů (SPDS). Součástí systému PCS je i zobrazení rozhraní systému monitorování aktivní zóny SCORPIO-VVER.

Úkolem systému vnitroreaktorové kontroly IN-CORE je získání základních informací o stavu aktivní zóny, reaktoru a vybraných teplotechnických údajů primárního a sekundárního okruhu. Tento systém je určen pro automatický centralizovaný sběr dat a zpracování dat podle pevně stanovených algoritmů. V reálném čase zpracovává základní informace o stavu aktivní zóny, primárního okruhu a důležitých parametrech sekundárního okruhu.

Úkolem systému monitorování aktivní zóny SCORPIO-VVER je příjem měřených signálů prostřednictvím systému IN-CORE, na jejich základě stanovení trojrozměrného rozložení výkonu aktivní zóny reaktoru, kontrola limitů a podmínek pro provoz aktivní zóny, archivace výsledků a měřených hodnot a sledování dosahování kritického stavu.

7.5.3.2 Koncepce projektového řešení systému

Systém PCS a IN-CORE je založen na technologii ZAT-Plant Suite MP, systému ZAT-2000 MP.

Systém PCS se skládá z následujících částí: operátorské stanice včetně periférií v BD, operátorská stanice včetně periférií v ND, velkoplošné displeje v BD, vícerozsahové displeje v BD, archivační stanice, servisní stanice, procesní úrovně (výpočetní systémy PCS), vstupní úrovně, inženýrské stanice, komunikačních prvků sítě.

Systém IN-CORE se skládá z následujících částí: procesní úrovně (výpočetní systémy), vstupní úrovně (unifikační skříně pro sběr dat z technologie), procesorové skříně s programovatelnými procesními stanicemi, včetně řídicích procesorů a I/O jednotek.

Systém SPDS je softwarový balík instalovaný v rámci systému PCS a dále pracovní stanice.

Systémy PCS, IN-CORE a SCORPIO-VVER jsou klasifikovány podle ČSN IEC 61226 jako systémy kategorie C.

7.5.3.3 Provozní režimy systému

PCS působí ve všech provozních režimech, IN-CORE v režimech 1 až 5. Systém SCORPIO-VVER působí v režimech 1 a 2.

Systém PCS:

- zajišťuje datovou komunikaci s bezpečnostními systémy SKŘ a systémy ŘSB a zobrazuje přijatá data na pracovních stanicích,
- realizuje přenos dat do nadblokové sběrnice technologických dat,
- zajišťuje archivaci vybraných dat a tisk protokolů a grafických výstupů IN-CORE,
- zajišťuje přenos dat ze systému SCORPIO-VVER na nadblokovou sběrnici technologických dat,
- zajišťuje poskytování dat externím uživatelům,
- je součástí první linie ochrany do hloubky a jeho účelem je poskytovat operátorům informace o stavu zařízení,
- zobrazení tech. informací na velkoplošných displejích,
- zobrazení parametrů PAMS3,
- výstražná signalizace,
- prezentace a obsluha alarmových hlášení, obrazovky alarmů.

Systém SPDS:

- monitoruje kritické bezpečnostní funkce;
- odečítá bezpečnostní parametry;
- vypočítává a zobrazuje vypočtené bezpečnostní parametry;
- zobrazuje alarmy při překročení nastavených hodnot bezpečnostních parametrů;
- zobrazení trendů měřených a počítaných bezpečnostních parametrů.

Systém IN-CORE měří a zpracovává všechny důležité parametry, které charakterizují stav reaktoru a cirkulačních smyček a základní parametry určující tok energie v sekundárním okruhu. Kromě toho jsou systémem IN-CORE poskytovány informace o výkonových distribucích v aktivní zóně.

7.5.3.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Legislativa ČR neklade zvláštní požadavky na systémy kategorie C, avšak vzhledem k zařazení systémů do bezpečnostní třídy BT3 dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. jsou touto vyhláškou stanoveny požadavky na zabezpečování jakosti. Vyhláška SÚJB č.195/1999 Sb. stanovuje dále požadavky na kvalifikaci zařízení a nezávislost (oddělení bezpečnostních a řídících systémů).

Ostatní požadavky na kvalitativní a kvantitativní hodnoty parametrů systémů jsou stanoveny projektem Obnovy SKŘ a dále některými vybranými standardy. Jedná se o další požadavky na:

- spolehlivost (včetně odolnosti proti jednoduché poruše),
- výkonnost,
- kvalifikaci na podmínky prostředí,
- nezávislost,
- testovatelnost,
- udržovatelnost.

7.5.3.5 Hodnocení provozu systému

Uvedené požadavky jsou plněny jednak projektovým řešením systémů a jednak provozními postupy a administrativními opatřeními. Podrobná diskuze plnění požadavků je dokladována především v PpBZ díl 7 a dále v dokumentaci Obnovy SKŘ.

Klíčové části systému PCS jsou 100% zálohovány jak z hlediska HW tak i komunikace. PCS je umístěn odděleně od ostatních systémů SKŘ, je adekvátně elektricky izolován od všech systémů, z nichž přejímá data, a není zdrojem dat pro žádný z těchto systémů.

Požadavky na management jakosti jsou splněny zavedeným systémem jakosti pro celý rozsah činností a dodavatelských vztahů projektu obnovy SKŘ. Zabezpečování jakosti je souhrnně popsáno a hodnoceno v doprovodné dokumentaci pro Obnovu SKŘ včetně dokladů o zajištění procesů tvorby a údržby software.

Pro testování funkcí systému za provozu jsou v širokém rozsahu využity prostředky automatické průběžné diagnostiky technických prostředků, zahrnující kontrolu napájení, autodiagnostiku řídících jednotek, verifikaci měřených signálů, kontrolu komunikačních linek a další. Zjištěné chyby jsou signalizovány na BD prostřednictvím mozaiky a poruchových zpráv na PCS.

Systém PCS splňuje relevantní požadavky české legislativy, požadavky SÚJB a dalších relevantních mezinárodních předpisů a návodů.

7.5.3.6 Vyhodnocení připravenosti systému pro další provoz

Systém byl nově vybudován jako náhrada blokového počítače. Systémy plní systém všechny aktuální požadavky a jsou schopny dalšího provozu. Lze předpokládat průběžnou modernizaci výpočetních prostředků, případně dalšího hardware (operátorských stanic), aby řešení odpovídalo aktuálnímu stavu techniky.

7.5.4 Systém měření neutronového toku vnějšími komorami (EX-CORE)

7.5.4.1 Účel systému EX-CORE

Tento systém není realizován samostatně, jedná se o nedílnou součást systému RTS. Z hlediska RTS se jedná o část snímací části RTS, tj. čidla - ionizační komory a související technika. Funkce měření neutronového toku vnějšími komorami je požadovaná kromě použití v RTS taktéž pro určování reaktivity a signalizace při výměně paliva.

7.5.4.2 Koncepce projektového řešení systému EX-CORE

Vzhledem k tomu, že měření neutronového toku je součástí funkcí RTS (a jeho sdělování je implementováno v systémech PAMS1 a PCS), je jeho popis a diskuse předmětem jiných kapitol.

7.5.4.3 Provozní režimy systému EX-CORE

Funkce EX-CORE je na rozdíl od funkcí RTS požadována rovněž v provozním režimu 3 při rozpojených vypínačích RTS, v režimech 4 a 5 a v režimu 6 a to i v období výměny paliva, kdy se manipuluje s palivovými kazetami a může docházet ke změnám reaktivity. Není požadována v režimu 7, kdy se v reaktoru nenachází žádné palivo a není tudíž nutné monitorovat stav aktivní zóny, protože nehrozí možnost vnosu kladné reaktivity.

7.5.4.4 Bezpečnostní požadavky na systém EX-CORE

Diskuse splnění požadavků je v relevantních požadavcích shodná s RTS (kap. 7.2), mnohé z požadavků však nejsou pro EX-CORE relevantní, neboť EX-CORE nevykonává žádné ochranné zásahy a nemá výkonnou část.

7.5.4.5 Hodnocení provozu systému EX-CORE

Vzhledem k tomu, že měření neutronového toku je součástí funkcí RTS, je jeho popis a diskuse předmětem jiných kapitol.

7.5.4.6 Vyhodnocení připravenosti systému EX-CORE pro další provoz

Vzhledem k tomu, že měření neutronového toku je součástí funkcí RTS, je jeho popis a diskuse předmětem jiných kapitol.

7.5.5 Seismický monitorovací systém (SMS)

7.5.5.1 Účel systému SMS

Dle požadavků mezinárodních doporučení je na EDU realizován seismický monitorovací systém, který však nepůsobí do havarijních ochran, ale působí pouze jako signalizační.

7.5.5.2 Koncepce projektového řešení systému SMS

Pro zajištění monitorování seismické situace na území EDU je instalován seismický monitorovací systém (SMS), jehož výstupy jsou zavedeny na zobrazovací panely všech blokových dozoren na EDU jako výchozí informace pro upřesnění činnosti operátorů a provozního personálu.

Seismický monitorovací systém je zajištěn pomocí 3 kusů tříosých snímačů zrychlení umístěných takto:

- Jeden snímač v úrovni volného terénu v samostatném stavebním objektu umístěném tak aby měl kontakt s rostlým podložím
- Jeden snímač na základové desce budovy reaktoru kotvený do stavby
- Jeden snímač na nejvyšším exponovaném podlaží reaktorové budovy kotvený do stavby

Signály ze snímačů jsou přivedeny do registračního a vyhodnocovacího zařízení.

7.5.5.3 Provozní režimy systému SMS

SMS analyzuje časové průběhy absolutního zrychlení, vyhodnocuje úrovně zemětřesení s kontrolou převýšení projektového zemětřesení. Vytváří se signál alarmní signály „Zemětřesení“ a „Překročení úrovně projektového zemětřesení“. Tato dvoustupňová signalizace je výchozí informací pro upřesnění činnosti operátorů a provozního personálu.

7.5.5.4 Hodnocení provozu systému SMS

Prostředky systému jsou modernizovány v rámci projektu Obnovy SKŘ. Požadavky dané zařazením v kategorii C dle ČSN IEC 61226 z důvodu funkce monitorování a varování o vnějším nebezpečí – zemětřesení. Systém je zařazen dle legislativy ČR do bezpečnostní třídy BT3 dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb.

7.5.5.5 Vyhodnocení připravenosti systému SMS pro další provoz

Systém SMS byl postupně instalován do roku 2014 a jedná se o moderní zařízení splňující všechny relevantní požadavky. Nepředpokládá se potřeba další modernizace a bude prováděna pouze údržba a testování tohoto systému a případně modifikace plynoucí ze souvisejících modifikací bloku.

7.6 Blokády a ostatní ovládání důležitá pro bezpečnost

SKŘ je vybaveno řadou technologických blokád souvisejících jadernou bezpečností. Přehled těchto blokád je v souladu s návodem US NRC NUREG-800 uveden níže.

Jedná se obecně o blokády:

- technologické blokády pro zabránění přetlakování nízkotlakých bezpečnostních systémů
- technologické blokády k zabránění přetlakování primárního okruhu při nízké teplotě tlakové nádoby reaktoru
- blokády zajišťující funkci hydroakumulátorů pro havarijní zaplavení aktivní zóny
- blokády oddělující bezpečnostní systémy od ostatních nebo redundantní či diverzní bezpečnostní systémy vzájemně, existuje-li jejich propojení

Konkrétně se v případě EDU jedná o:

- blokády přetlakování systému havarijního chlazení aktivní zóny
  - nízkotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny TH – ochrana před přetlakováním ze strany primárního okruhu je řešena pomocí zpětných klapek a automaticky ovládanými rychločinnými armaturami s ovládáním signály systému ESFAS
  - vysokotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny TJ - ochrana před přetlakováním ze strany primárního okruhu je řešena pomocí zpětných klapek a automaticky ovládanými rychločinnými armaturami s ovládáním signály systému ESFAS

- blokáda přetlakování primárního okruhu při nízké teplotě reaktoru – je provedena automatickým otevíráním odlehčovacího ventilu přepouštění do barbotážní nádrže, jehož otevření je řízeno porovnáním okamžité teploty s definovanou křivkou povoleného tlaku a teploty
- oddělovací ventily hydroakumulátorů – za normálního provozu na výkonu jsou trvale otevřeny a ovládání uzamčeno
- blokády nežádoucích změn hladiny vody v kompenzátoru objemu – jsou realizovány na akčních členech (regulačních ventilech) systému velké borové regulace. Kolísání hladiny v menším rozsahu je omezováno regulačními okruhy, při větších fluktuacích hladiny nebo průtocích regulačními orgány pomocí akčních zásahů nadřazených automatik

7.7 Řídicí systémy související s bezpečností

7.7.1 Limitační systém reaktoru RLS

7.7.1.1 Účel systému

Posláním limitačního systému reaktoru je stabilizovat výkon reaktoru případně jiné sledované technologické veličiny na zadané hodnotě v závislosti na definované události a udržovat je na této hodnotě s přesností zadanou pásmem necitlivosti. Tato činnost se realizuje změnou polohy skupin regulačních kazet (HRK). Řídící signál je z RLS předáván do systému RRCS, kde je generován povel na změnu polohy regulačních kazet (HRK).

7.7.1.2 Koncepce projektového řešení

Funkce systému RLS je prováděna v digitálních systémech DIS (zpracovává měření) a DRLS (funkční a výběrová logika). Systém DIS je popsán v kap. 7.2.2.1. Systém DRLS je proveden obdobně jako systém DRPS ve třech nezávislých identických divizích a vybudován na shodné platformě Spinline 3.

7.7.1.3 Provozní režimy systému

Systém RLS zpracuje vstupní hodnoty z DIS (teploty v horkých a studených větvích smyčky, počet pracujících hlavních cirkulačních čerpadel, tlakový spád na nich) K omezení a udržování výkonu reaktoru jsou používány signály HO3 a HO4.

Signál HO3 má za následek pomalé zasouvání všech skupin HRK v dané posloupnosti skupin do aktivní zóny. Signál lze aktivovat ručně a nebo je aktivován automaticky z různých příčin:

- snížení periody neutronového toku
- zvýšení neutronového toku
- zvýšení nebo snížení tlaku v primárním okruhu
- zvýšení teplot v horkých smyčkách
- snížení hladiny ve dvou parogenerátorech
- převýšení tepelného výkonu
- výpadek HCČ (1-3, >4)
- zvýšení tlaku v hlavním parním kolektoru

Signál HO4 odpovídá zákazu vysouvání HRK z aktivní zóny. Signál je aktivován automaticky z různých příčin:

- aktivace HO3
- pád kazety do zóny, propadnutí kazety

7.7.1.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Systém RLS - jeho funkce a zařízení - jsou zařazeny do kategorie B dle ČSN IEC 61226 a musí plnit požadavky stanovené touto normou.

Dle legislativy platné v ČR v době obnovy tohoto systému se na systém RLS vztahuje vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. o požadavcích na jaderná zařízení a další ustanovení a rozhodnutí SÚJB z čehož plynou především následující požadavky:

- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí zajišťovat funkci při normálním a abnormálním provozu a schopna omezovat důsledky poruch a nehod
- zařízení musí umožňovat za provozu provádět kontroly a zkoušky funkčnosti a spolehlivosti a musí obsahovat opatření kompenzující výskyt zkouškami nezjištěných závad za provozu;
- musí být zaveden a dokladován systém jakosti programem zabezpečování jakosti a tento program
- musí dostatečně podrobně specifikovat kvalifikační kritéria pro tvorbu software pro implementaci funkcí důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti včetně postupů a procesů ověřování
- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí být řešena tak, aby při vzniku havarijních podmínek nedošlo k jejich poškození v důsledku poruch jiných zařízení; musí být schopna snést změny prostředí spojené s těmito poruchami a chráněna proti dynamickým účinkům; musí zajistit, aby při živelných událostech nebo událostech vyvolaných lidskou činností byla schopna bezpečně odstavit reaktor a udržovat ho v podkritickém stavu, odvádět zbytkové teplo po dostatečně dlouhou dobu a zajistit že případné radioaktivní úniky nepřekročí stanovené limity
- ochranné a řídící systémy musí být odděleny tak, aby porucha řídicích systémů neovlivnila schopnost ochranných systémů vykonat požadovanou bezpečnostní funkci
- musí být stanoveny požadavky na numerické hodnoty ukazatelů spolehlivosti, které vychází z provozních hledisek pro systémy, které nejsou bezpečnostní; budou dokumentovány kvantitativní ukazatele spolehlivosti a způsob provedení kvalitativní i kvantitativní analýzy spolehlivosti
- elektrické napájení řídících a ochranných systémů musí umožňovat napájení z nouzového zdroje, tj. být zálohováno bez omezení výkonu po dobu potřebou pro spolehlivou funkci systémů – systémy musí být napájeny nepřetržitě

7.7.1.5 Hodnocení provozu systému

Prostředky systému RLS byly modernizovány v rámci projektu Obnovy SKŘ a původní technika zaměněna za moderní prostředky na bázi počítačů.

Výše uvedené požadavky jsou plněny jednak projektovým řešením systému RLS a podpůrných systémů a jednak provozními postupy a administrativními opatřeními.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění spolehlivostních požadavků, patří především třídivizní uspořádání a redundance na úrovni divize spolu s výběrovými logikami. Podrobně je plnění spolehlivostních požadavků dokladováno v PpBZ EDUrev2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na udržovatelnost testovatelnost, patří implementovaná online diagnostika zařízení systému. Podrobně je plnění požadavků na testovatelnost dokladováno v PpBZ EDU rev2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na integritu systému, patří především aplikace výběrové logiky a online diagnostika. Podrobně je plnění požadavků na integritu dokladováno v PpBZ EDU rev2 , díl 7.4 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na nezávislost systému, patří oddělení zařízení systému od ostatních systémů (zejména nižší kategorie). Nezávislost systému na účincích vnějšího prostředí je zajištěna kvalifikací. Podrobně je plnění požadavků na nezávislost dokladováno v PpBZ, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na kvalifikaci zařízení, patří existence technických prostředků pro zajištění prostředí v místnostech zařízení systému. Dále je to kvalifikace na odolnost proti působení vnějších vlivů jako např. seismická událost. Podrobně je plnění požadavků na kvalifikaci dokladováno v PpBZ EDU rev2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Požadavky na management jakosti jsou splněny zavedeným systémem jakosti pro celý rozsah činností a dodavatelských vztahů projektu obnovy SKŘ. Zabezpečování jakosti je souhrnně popsáno a hodnoceno v doprovodné bezpečnostní dokumentaci pro obnovu SKŘ včetně dokladů o zajištění procesů tvorby a údržby software.

Systém RLS splňuje relevantní požadavky české legislativy, požadavky SÚJB, požadavky na systémy související s jadernou bezpečností a dalších relevantních národních a mezinárodních předpisů a návodů.

7.7.1.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Vzhledem k nedávné celkové modernizaci tohoto systému a záměně jeho původních prostředků za moderní prostředky na bázi počítačů plní systém všechny aktuální bezpečnostní požadavky a je schopen provozu po celou zbývající životnost bloků EDU. Nepředpokládá se potřeba další modernizace a bude prováděna pouze údržba a testování tohoto systému a případně modifikace plynoucí ze souvisejících modifikací bloku.

7.7.2 Regulační systém reaktoru RCS

7.7.2.1 Účel systému

Systém RCS je určen k řízení neutronového výkonu reaktoru podle požadavků na výkon turbin resp. na výkon bloku. Za pomoci RCS se dosahuje požadovaného neutronového výkonu resp. tlaku v hlavním parním kolektoru a udržuje se na požadované hodnotě. Dále se za pomoci RCS zvládají běžné přechodové stavy a předchází se (spolu s RLS) rychlým odstavením reaktoru.

7.7.2.2 Koncepce projektového řešení

Systém RCS se sestává ze dvou částí:

- regulátor neutronového výkonu
- regulátor tlaku v HPK

RCS je vybudován jako trojnásobně redundantní. Vstupní informace o neutronovém výkonu, jeho periodě a tlaku v primárním okruhu jsou získávány z DIS přes bezpečnostní síť, pro tlak v hlavním parním kolektoru jsou použity zvláštní snímače.

Systém RCS je postaven na technologii Spinline 3.

7.7.2.3 Provozní režimy systému

Systém RCS pracuje ve dvou regulačních režimech:

- režim „N“: udržování neutronového výkonu na žádané hodnotě
- režim „T“: udržování tlaku v HPK na žádané hodnotě.

7.7.2.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Systém RCS - jeho funkce a zařízení - jsou zařazeny do kategorie B dle ČSN IEC 61226 a musí plnit požadavky stanovené touto normou.

Dle legislativy platné v ČR v době obnovy tohoto systému se na systém RCS vztahuje vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. a další ustanovení a rozhodnutí SÚJB z čehož plynou především následující požadavky:

- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí zajišťovat funkci při normálním a abnormálním provozu a schopna omezovat důsledky poruch a nehod
- zařízení musí umožňovat za provozu provádět kontroly a zkoušky funkčnosti a spolehlivosti a musí obsahovat opatření kompenzující výskyt zkouškami nezjištěných závad za provozu;
- musí být zaveden a dokladován systém jakosti programem zabezpečování jakosti a tento program
- musí dostatečně podrobně specifikovat kvalifikační kritéria pro tvorbu software pro implementaci funkcí důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti včetně postupů a procesů ověřování
- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí být řešena tak, aby při vzniku havarijních podmínek nedošlo k jejich poškození v důsledku poruch jiných zařízení; musí být schopna snést změny prostředí spojené s těmito poruchami a chráněna proti dynamickým účinkům
- ochranné a řídící systémy musí být odděleny tak, aby porucha řídicích systémů neovlivnila schopnost ochranných systémů vykonat požadovanou bezpečnostní funkci
- musí být stanoveny požadavky na numerické hodnoty ukazatelů spolehlivosti, které vychází z provozních hledisek pro systémy, které nejsou bezpečnostní; budou dokumentovány kvantitativní ukazatele spolehlivosti a způsob provedení kvalitativní i kvantitativní analýzy spolehlivosti
- elektrické napájení řídících a ochranných systémů musí umožňovat napájení z nouzového zdroje, tj. být zálohováno bez omezení výkonu po dobu potřebou pro spolehlivou funkci systémů – systémy musí být napájeny nepřetržitě

7.7.2.5 Hodnocení provozu systému

Prostředky systému RCS byly modernizovány v rámci projektu Obnovy SKŘ a původní technika zaměněna za moderní prostředky na bázi počítačů.

Výše uvedené požadavky jsou plněny jednak projektovým řešením systému RCS a podpůrných systémů a jednak provozními postupy a administrativními opatřeními.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění spolehlivostních požadavků, patří především trojnásobně redundantní vnitřní architektura spolu s výběrovými logikami. Podrobně je plnění spolehlivostních požadavků dokladováno v PpBZ EDUrev2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na udržovatelnost testovatelnost, patří implementovaná online diagnostika zařízení systému. Podrobně je plnění požadavků na testovatelnost dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na integritu systému, patří především aplikace výběrové logiky a online diagnostika. Podrobně je plnění požadavků na integritu dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.4 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na nezávislost systému, patří oddělení zařízení systému od ostatních systémů (zejména nižší kategorie). Nezávislost systému na účincích vnějšího prostředí je zajištěna kvalifikací. Podrobně je plnění požadavků na nezávislost dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na kvalifikaci zařízení, patří existence technických prostředků pro zajištění prostředí v místnostech zařízení systému. Dále je to kvalifikace na odolnost proti působení vnějších

vlivů jako např. seismická událost. Podrobně je plnění požadavků na kvalifikaci dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Požadavky na management jakosti jsou splněny zavedeným systémem jakosti pro celý rozsah činností a dodavatelských vztahů projektu obnovy SKŘ. Zabezpečování jakosti je souhrnně popsáno a hodnoceno v doprovodné bezpečnostní dokumentaci pro obnovu SKŘ včetně dokladů o zajištění procesů tvorby a údržby software.

Systém RCS splňuje relevantní požadavky české legislativy, požadavky SÚJB, požadavky na systémy související s jadernou bezpečností a dalších relevantních národních a mezinárodních předpisů a návodů.

7.7.2.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Vzhledem k nedávné celkové modernizaci tohoto systému a záměně jeho původních prostředků za moderní prostředky na bázi počítačů plní systém všechny aktuální bezpečnostní požadavky a je schopen provozu po celou zbývající životnost bloků EDU. Nepředpokládá se potřeba další modernizace a bude prováděna pouze údržba a testování tohoto systému a případně modifikace plynoucí ze souvisejících modifikací bloku.

7.7.3 Systém ovládání regulačních kazet RRCS

7.7.3.1 Účel systému

Systém ovládání kazet HRK (RRCS) je určen pro řízení pohonů kazet HRK v závislosti na řídících signálech ze systémů RTS, RLS, RCS a ručního řízení.

7.7.3.2 Koncepce projektového řešení

Nejnižší úroveň systému je tvořena skříněmi řízení motorů a skříněmi vyhodnocení polohy.

Vyšší úroveň tvoří skříň skupinového a individuálního řízení pohonů, skříň monitorování a diagnostiky a zařízení pultu operátora

7.7.3.3 Provozní režimy systému

Funkce vykonávané na základě přijatých povelů:

- rychlé odstavení reaktoru HO-1. Na základě signálů z RTS je vyvoláno odpojení napájení motorů a tím spuštění všech kazet. Tento způsob vypnutí je záložní. Hlavní způsob vypnutí je odpojení silového napájení 220V DC ve skříních stykačů, zařazených do RTS.
- zásah limitačního systému HO-3. Na základě signálů z RLS je vyvoláno spouštění jednotlivých skupin kazet HRK v projektové posloupnosti s pracovní rychlostí
- zásah limitačního systému HO-4. Na základě signálů z RLS je vyvolán zákaz pohybu pracovní skupiny kazet nahoru (ve smyslu zvyšování reaktivity). Po zrušení signálů z RLS je možný další pohyb nahoru.
- pohyb skupin kazet HRK v pevné projektové posloupnosti na základě povelů od regulačního systému reaktoru (RCS)

Funkce vykonávané samostatně:

- vyhodnocení hrubé a jemné polohy každé kazety v rozsahu pracovního chodu
- pohyb kazety vybrané pro individuální řízení na základě povelu operátora
- zvedání nebo spouštění skupin kazet v pevné projekční posloupnosti, a to buď na základě povelu operátora nebo od povelů RCS resp. RLS
- pohyb vybrané skupiny kazet na základě povelu operátora
- měření doby pádu a rozsouhlasení polohy
- informační funkce

7.7.3.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Systém RRCS - jeho funkce a zařízení - jsou zařazeny do kategorie B dle ČSN IEC 61226 a musí plnit požadavky stanovené touto normou.

Dle legislativy platné v ČR v době obnovy tohoto systému se na systém RRCS vztahuje vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. a další ustanovení a rozhodnutí SÚJB z čehož plynou především následující požadavky:

- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí zajišťovat funkci při normálním a abnormálním provozu a schopna omezovat důsledky poruch a nehod
- zařízení musí umožňovat za provozu provádět kontroly a zkoušky funkčnosti a spolehlivosti a musí obsahovat opatření kompenzující výskyt zkouškami nezjištěných závad za provozu;
- musí být zaveden a dokladován systém jakosti programem zabezpečování jakosti a tento program
- musí dostatečně podrobně specifikovat kvalifikační kritéria pro tvorbu software pro implementaci funkcí důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti včetně postupů a procesů ověřování
- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí být řešena tak, aby při vzniku havarijních podmínek nedošlo k jejich poškození v důsledku poruch jiných zařízení; musí být schopna snést změny prostředí spojené s těmito poruchami a chráněna proti dynamickým účinkům
- ochranné a řidící systémy musí být odděleny tak, aby porucha řídicích systémů neovlivnila schopnost ochranných systémů vykonat požadovanou bezpečnostní funkci
- musí být stanoveny požadavky na numerické hodnoty ukazatelů spolehlivosti, které vychází z provozních hledisek pro systémy, které nejsou bezpečnostní; budou dokumentovány kvantitativní ukazatele spolehlivosti a způsob provedení kvalitativní i kvantitativní analýzy spolehlivosti
- elektrické napájení řídících a ochranných systémů musí umožňovat napájení z nouzového zdroje, tj. být zálohováno bez omezení výkonu po dobu potřebou pro spolehlivou funkci systémů – systémy musí být napájeny nepřetržitě

7.7.3.5 Hodnocení provozu systému

Prostředky systému RRCS byly modernizovány v rámci projektu Obnovy SKŘ a původní technika zaměněna za moderní prostředky na bázi počítačů.

Výše uvedené požadavky jsou plněny jednak projektovým řešením systému RRCS a podpůrných systémů a jednak provozními postupy a administrativními opatřeními.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění spolehlivostních požadavků, patří především redundantní vnitřní architektura. Podrobně je plnění spolehlivostních požadavků dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na udržovatelnost testovatelnost, patří implementovaná online diagnostika zařízení systému. Podrobně je plnění požadavků na testovatelnost dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na nezávislost systému, patří oddělení zařízení systému od ostatních systémů (zejména nižší kategorie). Nezávislost systému na účincích vnějšího prostředí je zajištěna kvalifikací. Podrobně je plnění požadavků na nezávislost dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na kvalifikaci zařízení, patří existence technických prostředků pro zajištění prostředí v místnostech zařízení systému. Dále je to kvalifikace na odolnost proti působení vnějších

vlivů jako např. seismická událost. Podrobně je plnění požadavků na kvalifikaci dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Požadavky na management jakosti jsou splněny zavedeným systémem jakosti pro celý rozsah činností a dodavatelských vztahů projektu obnovy SKŘ. Zabezpečování jakosti je souhrnně popsáno a hodnoceno v doprovodné bezpečnostní dokumentaci pro obnovu SKŘ včetně dokladů o zajištění procesů tvorby a údržby software.

Systém RRCS splňuje relevantní požadavky české legislativy, požadavky SÚJB, požadavky na systémy související s jadernou bezpečností a dalších relevantních národních a mezinárodních předpisů a návodů.

7.7.3.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Vzhledem k nedávné celkové modernizaci tohoto systému a záměně jeho původních prostředků za moderní prostředky na bázi počítačů plní systém všechny aktuální bezpečnostní požadavky a je schopen provozu po celou zbývající životnost bloků EDU. Nepředpokládá se potřeba další modernizace a bude prováděna pouze údržba a testování tohoto systému a případně modifikace plynoucí ze souvisejících modifikací bloku.

7.7.4 Systém pro podpůrné zásahy SAS

7.7.4.1 Účel systému

Systém pro podpůrné zásahy je rozdělen na třídivizní SAS-I,II,III, jehož funkce jsou prováděny systémem ESFAS a na tzv. nesystémovou část SAS N. Popis a hodnocení SAS-N jsou předmětem této kapitoly.

SAS-N je určen především k ovládání nesystémových akčních členů, tzn. těch které nejsou rozděleny divizně, na základě vyhodnocení překročení nastavených parametrů. Překročení parametrů čte z bezpečnostních sítí a jejich vyhodnocení a zásah provádí nezávisle, ale prakticky souběžně se systémy ESFAS a RTS. Tím doplňuje jejich zapůsobení.

7.7.4.2 Koncepce projektového řešení

Funkce SAS-N jsou prováděny v digitálních zařízeních systému DIS (zpracovává měření, viz kap. 7.2.2.1) a SAS-N (funkční a výběrová logika). SAS-N je součástí komplexu řídících systémů postavených na technologii SPINLINE3.

SAS-N je divizně nečleněný, se dvěma redundantními paralelně pracujícími procesorovými jednotkami. Dvě procesorové jednotky pracují s výběrovou logikou 1/2.

7.7.4.3 Provozní režimy systému

Většina řídících signálů SAS-N je fakticky doplňkem řídících signálů RTS a ESFAS, iniciační a povolovací podmínky těchto řídících signálů SAS-N se pak shodují s podmínkami řídících signálů RTS a ESFAS nebo jejich kombinací:

- Velká havárie
- Velký únik nebo přetlak hermetické zóny
- Roztržení hlavního parního kolektoru
- Roztržení hlavního napájecího kolektoru nebo hlavního výtlačného kolektoru
- Prasknutí parovodu parogenerátoru 1-6
- Převýšení tlaku hermetické zóny
- Převýšení tlakového spádu na aktivní zóně
- Pokles hladiny vody v parogenerátoru
- Vypnutí hlavního cirkulačního čerpadla 1-6

7.7.4.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Systém SAS-N - jeho funkce a zařízení - jsou zařazeny do kategorie B dle ČSN IEC 61226 a musí plnit požadavky stanovené touto normou.

Dle legislativy platné v ČR v době obnovy tohoto systému se na systém SAS-N vztahuje vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. a další ustanovení a rozhodnutí SÚJB z čehož plynou především následující požadavky:

- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí zajišťovat funkci při normálním a abnormálním provozu a schopna omezovat důsledky poruch a nehod
- zařízení musí umožňovat za provozu provádět kontroly a zkoušky funkčnosti a spolehlivosti a musí obsahovat opatření kompenzující výskyt zkouškami nezjištěných závad za provozu;
- musí být zaveden a dokladován systém jakosti programem zabezpečování jakosti a tento program
- musí dostatečně podrobně specifikovat kvalifikační kritéria pro tvorbu software pro implementaci funkcí důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti včetně postupů a procesů ověřování
- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí být řešena tak, aby při vzniku havarijních podmínek nedošlo k jejich poškození v důsledku poruch jiných zařízení; musí být schopna snést změny prostředí spojené s těmito poruchami a chráněna proti dynamickým účinkům
- ochranné a řidící systémy musí být odděleny tak, aby porucha řídicích systémů neovlivnila schopnost ochranných systémů vykonat požadovanou bezpečnostní funkci
- musí být stanoveny požadavky na numerické hodnoty ukazatelů spolehlivosti, které vychází z provozních hledisek pro systémy, které nejsou bezpečnostní; budou dokumentovány kvantitativní ukazatele spolehlivosti a způsob provedení kvalitativní i kvantitativní analýzy spolehlivosti
- elektrické napájení řídících a ochranných systémů musí umožňovat napájení z nouzového zdroje, tj. být zálohováno bez omezení výkonu po dobu potřebou pro spolehlivou funkci systémů – systémy musí být napájeny nepřetržitě

7.7.4.5 Hodnocení provozu systému

Prostředky systému SAS-N byly modernizovány v rámci projektu Obnovy SKŘ a původní technika zaměněna za moderní prostředky na bázi počítačů.

Výše uvedené požadavky jsou plněny jednak projektovým řešením systému SAS-N a podpůrných systémů a jednak provozními postupy a administrativními opatřeními.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění spolehlivostních požadavků, patří především redundantní vnitřní architektura spolu s výběrovými logikami. Podrobně je plnění spolehlivostních požadavků dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na udržovatelnost testovatelnost, patří implementovaná online diagnostika zařízení systému. Podrobně je plnění požadavků na testovatelnost dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na integritu systému, patří především aplikace výběrové logiky a online diagnostika. Podrobně je plnění požadavků na integritu dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.4 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na nezávislost systému, patří oddělení zařízení systému od ostatních systémů (zejména nižší kategorie). Nezávislost systému na účincích vnějšího prostředí je zajištěna kvalifikací. Podrobně je plnění požadavků na nezávislost dokladováno v PpBZ, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na kvalifikaci zařízení, patří existence technických prostředků pro zajištění prostředí v místnostech zařízení systému. Dále je to kvalifikace na odolnost proti působení vnějších vlivů jako např. seismická událost. Podrobně je plnění požadavků na kvalifikaci dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Požadavky na management jakosti jsou splněny zavedeným systémem jakosti pro celý rozsah činností a dodavatelských vztahů projektu obnovy SKŘ. Zabezpečování jakosti je souhrnně popsáno a hodnoceno v doprovodné bezpečnostní dokumentaci pro obnovu SKŘ včetně dokladů o zajištění procesů tvorby a údržby software.

Systém SAS-N splňuje relevantní požadavky české legislativy, požadavky SÚJB, požadavky na systémy související s jadernou bezpečností a dalších relevantních národních a mezinárodních předpisů a návodů.

7.7.4.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Vzhledem k nedávné celkové modernizaci tohoto systému a záměně jeho původních prostředků za moderní prostředky na bázi počítačů plní systém všechny aktuální bezpečnostní požadavky a je schopen provozu po celou zbývající životnost bloků EDU. Nepředpokládá se potřeba další modernizace a bude prováděna pouze údržba a testování tohoto systému a případně modifikace plynoucí ze souvisejících modifikací bloku.

7.7.5 Ochranný systém parogenerátorů SGPS

7.7.5.1 Účel systému

SGPS je systém ochran parogenerátorů, určený pro omezení velkých změn hladiny napájecí vody v PG během abnormálních a havarijních stavů. Jeho základní funkcí je udržet střední hladinu v PG v mezích –140 až +100 mm od nominální úrovně.

7.7.5.2 Koncepce projektového řešení

Jedná se o divizně nečleněný systém. Je založen na platformě systému ZAT-2000 MP. Systém SGPS se skládá ze dvou identických větví A a B. Obě větve sdílejí tytéž snímače a jejich výstupy jsou vyvedeny na tytéž ovládací okruhy v technologii a signalizační žárovky na základě výběru 1 ze 2. Řídicí jednotky větve A jsou propojeny s partnerskými jednotkami větve B tak, aby bylo možno diagnostikovat nefunkčnost některé jednotky nebo neshodu dat.

7.7.5.3 Provozní režimy systému

Primární funkce zajišťují zásahy systému pomocí působení na akční orgány a na navazující systémy:

- hladina v parogenerátoru -140 mm
- hladina v parogenerátoru +75 mm
- hladina v parogenerátoru +100 mm

Signály ovlivňují akční členy

- zapnutí havarijního napájecího čerpadla
- vypnutí posledního pracujícího elektronapájecího čerpadla

7.7.5.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Systém SGPS - jeho funkce a zařízení - jsou zařazeny do kategorie C dle ČSN IEC 61226 a musí plnit požadavky stanovené touto normou.

Dle legislativy platné v ČR v době obnovy tohoto systému se na systém RCS vztahuje vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. a další ustanovení a rozhodnutí SÚJB z čehož plynou především následující požadavky:

- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí zajišťovat funkci při normálním a abnormálním provozu a schopna omezovat důsledky poruch a nehod

- zařízení musí umožňovat za provozu provádět kontroly a zkoušky funkčnosti a spolehlivosti a musí obsahovat opatření kompenzující výskyt zkouškami nezjištěných závad za provozu;

- musí být zaveden a dokladován systém jakosti programem zabezpečování jakosti a tento program

- musí dostatečně podrobně specifikovat kvalifikační kritéria pro tvorbu software pro implementaci funkcí důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti včetně postupů a procesů ověřování

- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí být řešena tak, aby při vzniku havarijních podmínek nedošlo k jejich poškození v důsledku poruch jiných zařízení; musí být schopna snést změny prostředí spojené s těmito poruchami a chráněna proti dynamickým účinkům

- ochranné a řidící systémy musí být odděleny tak, aby porucha řídicích systémů neovlivnila schopnost ochranných systémů vykonat požadovanou bezpečnostní funkci

- musí být stanoveny požadavky na numerické hodnoty ukazatelů spolehlivosti, které vychází z provozních hledisek pro systémy, které nejsou bezpečnostní; budou dokumentovány kvantitativní ukazatele spolehlivosti a způsob provedení kvalitativní i kvantitativní analýzy spolehlivosti

- elektrické napájení řídících a ochranných systémů musí umožňovat napájení z nouzového zdroje, tj. být zálohováno bez omezení výkonu po dobu potřebou pro spolehlivou funkci systémů – systémy musí být napájeny nepřetržitě

7.7.5.5 Hodnocení provozu systému

Prostředky systému SGPS byly modernizovány v rámci projektu Obnovy SKŘ a původní technika zaměněna za moderní prostředky na bázi počítačů.

Výše uvedené požadavky jsou plněny jednak projektovým řešením systému SGPS a podpůrných systémů a jednak provozními postupy a administrativními opatřeními.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění spolehlivostních požadavků, patří především redundantní vnitřní architektura. Podrobně je plnění spolehlivostních požadavků dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na udržovatelnost testovatelnost, patří implementovaná online diagnostika zařízení systému. Podrobně je plnění požadavků na testovatelnost dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na nezávislost systému, patří oddělení zařízení systému od ostatních systémů. Nezávislost systému na účincích vnějšího prostředí je zajištěna kvalifikací. Podrobně je plnění požadavků na nezávislost dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na kvalifikaci zařízení, patří existence technických prostředků pro zajištění prostředí v místnostech zařízení systému. Dále je to kvalifikace na odolnost proti působení vnějších vlivů jako např. seismická událost. Podrobně je plnění požadavků na kvalifikaci dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Požadavky na management jakosti jsou splněny zavedeným systémem jakosti pro celý rozsah činností a dodavatelských vztahů projektu obnovy SKŘ. Zabezpečování jakosti je souhrnně popsáno a hodnoceno v doprovodné bezpečnostní dokumentaci pro obnovu SKŘ včetně dokladů o zajištění procesů tvorby a údržby software.

Systém SGPS splňuje relevantní požadavky české legislativy, požadavky SÚJB, požadavky na systémy související s jadernou bezpečností a dalších relevantních národních a mezinárodních předpisů a návodů.

7.7.5.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Vzhledem k nedávné celkové modernizaci tohoto systému a záměně jeho původních prostředků za moderní prostředky na bázi počítačů plní systém všechny aktuální bezpečnostní požadavky a je schopen provozu po celou zbývající životnost bloků EDU. Nepředpokládá se potřeba další modernizace a bude prováděna pouze údržba a testování tohoto systému a případně modifikace plynoucí ze souvisejících modifikací bloku.

7.7.6 Řídicí systémy bloku ŘSB C

7.7.6.1 Účel systému

Do těchto systémů patří ŘSBP C, ŘSBS C, ŘSBT C, ŘSBB C, ŘSBN C, ŘSBE C.

ŘSB kategorie C je skupina systémů:

- ŘSBP C je řídící systém bloku, ovládající akční členy na primárním okruhu a souvisejících systémech
- ŘSBS C je řídící systém bloku, ovládající akční členy na sekundárním okruhu a souvisejících systémech
- ŘSBT C je řídící systém bloku, ovládající akční členy na turbině a souvisejících systémech
- ŘSBB C je řídící systém bloku, umístěný na BD, poskytuje funkce ovládání na volbu a poruchové signalizace
- ŘSBN C je řídící systém bloku, umístěný na ND, poskytuje funkce ovládání na volbu a poruchové signalizace
- ŘSBE C je řídící systém blokové vlastní spotřeby

7.7.6.2 Koncepce projektového řešení

Jsou použity dvě technologické platformy –

- C1: automatizační systém ZAT FS – pracovní stanice a ZAT-DV – řídící systém pro řízení technologických procesů. Redundance systému je vytvořena na úrovni procesorů pracujících v režimu master-slave a připojením zálohujících se akčních členů na různé jednotky
- C2: automatizační systém ZAT-PRIMIS

Systémy ŘSBB C a ŘSBN C jsou tvořeny procesními stanicemi umístěnými v panelech blokové a nouzové dozorny. Systémy jsou realizovány na platformě C1. Kromě funkcí klasifikovaných jako C zpracovávají i další neklasifikované funkce.

Systémy ŘSBPC, ŘSBS C jsou realizovány na Platformě C1 a jsou koncipovány a projektovány tak, že jsou provozuschopné za normálního a abnormálního provozu. Neklasifikované funkce jsou realizovány společně s funkcemi kategorie C.

Systém ŘSBE C je realizován na Platformě C1 a je koncipován a projektován tak, že je provozuschopný za normálních a abnormálních podmínek ve všech režimech provozu bloku.

7.7.6.3 Provozní režimy systému

Systémy ŘSBB C a ŘSBN C zajišťují:

- ovládání na volbu pro primární a sekundární okruh
- poruchovou signalizaci pro primární a sekundární okruh
- digitalizaci signálů pro dedikované ukazovací přístroje
- vyhodnocení mezí automatik
- řízení stabilního skrápěcího zařízení

Systémy ŘSBP C a ŘSBS C zajišťují:

- automatické dvoustavové a spojité řízení komponent primárního a sekundárního okruhu
- digitalizace signálů pro automatické řízení

Systém ŘSBE C zajišťuje:

- monitorování a řízení (ruční dálkové) blokové vlastní spotřeby

7.7.6.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Systémy ŘSB C - jejich funkce a zařízení - jsou zařazeny do kategorie C dle ČSN IEC 61226 a musí plnit požadavky stanovené touto normou.

Dle legislativy platné v ČR v době obnovy tohoto systému se na systémy v omezené míře vztahuje vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. a další ustanovení a rozhodnutí SÚJB z čehož plynou především následující požadavky:

- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí zajišťovat funkci při normálním a abnormálním provozu a schopna omezovat důsledky poruch a nehod

- zařízení musí umožňovat za provozu provádět kontroly a zkoušky funkčnosti a spolehlivosti a musí obsahovat opatření kompenzující výskyt zkouškami nezjištěných závad za provozu;

- musí být zaveden a dokladován systém jakosti programem zabezpečování jakosti a tento program

- musí dostatečně podrobně specifikovat kvalifikační kritéria pro tvorbu software pro implementaci funkcí důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti včetně postupů a procesů ověřování

- zařízení důležitá pro jadernou bezpečnost musí být řešena tak, aby při vzniku havarijních podmínek nedošlo k jejich poškození v důsledku poruch jiných zařízení; musí být schopna snést změny prostředí spojené s těmito poruchami a chráněna proti dynamickým účinkům

- ochranné a řídící systémy musí být odděleny tak, aby porucha řídicích systémů neovlivnila schopnost ochranných systémů vykonat požadovanou bezpečnostní funkci

- musí být stanoveny požadavky na numerické hodnoty ukazatelů spolehlivosti, které vychází z provozních hledisek pro systémy, které nejsou bezpečnostní; budou dokumentovány kvantitativní ukazatele spolehlivosti a způsob provedení kvalitativní i kvantitativní analýzy spolehlivosti

- elektrické napájení řídících a ochranných systémů musí umožňovat napájení z nouzového zdroje, tj. být zálohováno bez omezení výkonu po dobu potřebou pro spolehlivou funkci systémů – systémy musí být napájeny nepřetržitě

7.7.6.5 Hodnocení provozu systému

Prostředky systémů ŘSB C byly modernizovány v rámci projektu Obnovy SKŘ a původní technika zaměněna za moderní prostředky na bázi počítačů.

Výše uvedené požadavky jsou plněny jednak projektovým řešením a řešením podpůrných systémů a jednak provozními postupy a administrativními opatřeními.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění spolehlivostních požadavků, patří především zálohování na úrovni hardware. Podrobně je plnění spolehlivostních požadavků dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na nezávislost systému, patří oddělení zařízení systému od ostatních systémů. Nezávislost systému na účincích vnějšího prostředí je zajištěna kvalifikací. Podrobně je plnění požadavků na nezávislost dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Mezi hlavní atributy projektového řešení, které zajišťují plnění požadavků na kvalifikaci zařízení, patří existence technických prostředků pro zajištění prostředí v místnostech zařízení systému. Dále je to kvalifikace na odolnost proti působení vnějších vlivů jako např. seismická událost. Podrobně je plnění požadavků na kvalifikaci dokladováno v PpBZ EDU red.2, díl 7.7 a dále v dokumentech projektu obnovy SKŘ.

Požadavky na management jakosti jsou splněny zavedeným systémem jakosti pro celý rozsah činností a dodavatelských vztahů projektu obnovy SKŘ. Zabezpečování jakosti je souhrnně popsáno a hodnoceno v doprovodné bezpečnostní dokumentaci pro obnovu SKŘ včetně dokladů o zajištění procesů tvorby a údržby software.

Systémy ŘSB C splňují relevantní požadavky české legislativy, požadavky SÚJB, požadavky na systémy související s jadernou bezpečností a dalších relevantních národních a mezinárodních předpisů a návodů.

7.7.6.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Vzhledem k nedávné celkové modernizaci tohoto systému a záměně jeho původních prostředků za moderní prostředky na bázi počítačů plní systém všechny aktuální bezpečnostní požadavky a je schopen provozu po celou zbývající životnost bloků EDU. Nepředpokládá se potřeba další modernizace a bude prováděna pouze údržba a testování tohoto systému a případně modifikace plynoucí ze souvisejících modifikací bloku.

7.7.7 Řídicí systém bloku – turbína ŘSBT

7.7.7.1 Účel systému

Řídící systém ŘSBT je členěn na část klasifikovanou "B" a "C" dle ČSN IEC 61226

7.7.7.2 Koncepce projektového řešení

Pro ŘSBT B je popis společně uveden v kap. 7.4.2.1.

Pro ŘSBT C je popis společně uveden v kap. 7.7.6.

7.7.7.3 Provozní režimy systému

Systém ŘSBT B zajišťuje především funkce ochranného systému bloku. Tyto funkce zajišťují ovládání rychlozávěrů turbíny a přepouštěcí stanice do kondenzátoru. Funkce jsou společné pro obě turbíny.

Systém ŘSBT C je tvořen především operátorskými stanicemi turbín A a B. Vykonává funkce SKŘ centrálního sdělování a ovládání prostřednictvím displeje, klávesnice a polohovacího zařízení. Dále obsahuje ochranný systém turbíny A a B a ochranný systém bloku sekundární části. Další částí je subsystém binárního řízení turbíny A,B, subsystém regulace turbíny, regulační systém přepouštěcí stanice do kondenzátoru.

7.7.7.4 Hodnocení provozu systému

Informace jsou uvedeny v kap. kap. 7.4.2.1 a kap. 7.7.6.

7.7.7.5 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Vzhledem k nedávné celkové modernizaci tohoto systému a záměně jeho původních prostředků za moderní prostředky na bázi počítačů plní systém všechny aktuální bezpečnostní požadavky a je schopen provozu po celou zbývající životnost bloků EDU. Nepředpokládá se potřeba další modernizace a bude prováděna pouze údržba a testování tohoto systému a případně modifikace plynoucí ze souvisejících modifikací bloku.

7.8 Diverzní systémy kontroly a řízení

Požadavky na diverzitu vyplývají z nutnosti připustit existenci chyb ve složitém SW, které mohou ohrozit plnění jeho funkcí ve všech redundantních částech (divizích) současně, tj. způsobit CMF (Common Mode Failure - porucha o společné příčině).

Diverzita je pak definována jako odlišnost mezi dvěma (nebo vícero) nezávislými systémy či subsystémy SKŘ, určenými k dosažení téhož cíle, která se považuje za dostačující k tomu, aby oba systémy či subsystémy nebyly náchylné k současnému výskytu postulovaných CMF, znemožňující jim korektní provedení projektem stanovených činností. U systémů bezpečnostní kategorie A se jedná o zajištění adekvátní ochrany bloku při výskytu jednotlivých postulovaných iniciačních událostí (PIU).

Při identifikaci aplikovatelných aspektů diverzity a následném návrhu struktury systémů bezpečnostní kategorie A, umožňující její implementaci, bylo použito z osvědčeného postupu, který je shrnut do následujících kroků:

- identifikace vstupních dat a požadavků SÚJB a mezinárodních norem a doporučení
- specifikace funkčních požadavků – definice ochranných signálů
- shromáždění analytických podkladů – výpočty přechodových dějů vyvolaných projektovými iniciačními událostmi (PIU)

7.8.1 Alokace ochranných funkcí

Na základě těchto podkladů byla provedena funkční analýza, jejímž výsledkem je korelační tabulka mezi projektovými iniciačními událostmi a signály RTS.

Při provádění bezpečnostních analýz se pak z důvodu konzervativního přístupu zanedbává první vzniklý signál RTS. Pro signály ESFAS není stanovena funkční diverzita, za diverzní se považuje ruční zásah operátora s předpokladem jeho vzniku 30 minut po vzniklé událost.

Z výsledků analýz shrnutých v předchozí tabulce a z použitých výchozích analytických podkladů byl sestaven přehled diverzních signálů systému RTS a signálů ESFAS, rozdělených do dvou linií ochrany, vznikajících při jednotlivých PIU.

Pro každé PIU, první a druhý (diverzní) ochranný signál je alokován do různých procesních jednotek (linií ochrany), tzv. “pravidlo exkluzivity”.

V případě, že druhý diverzní signál nebyl nalezen, resp. nebyl určen s požadovanou jistotou, byl vytvořen redundantní signál k prvnímu signálu alokován do odlišné linie ochrany.

7.8.2 Plnění požadavků na návrh SKŘ

Výskyt poruchy se společnou příčinou je podle stanovisek SÚJB uvažován pouze v softwarových částech systému. Plnění požadavků je v projektu zajištěno:

- funkční diverzitou (viz předchozí kapitoly)

- aplikací principu 100% spolehlivosti pro jednoduché programové moduly, kde lze prokázat jejich bezchybnost (ELS)

7.9 Systémy pro komunikaci

Prostředky datové komunikace jsou definovány jako datové komunikační systémy, které jsou součástí systémů popisovaných v podkapitolách 7.2 až 7.7.

Systémy komunikují prostřednictvím následujících druhů komunikačních sítí:

- bezpečnostní síť Nervia (tři divize) – komunikace bezpečnostních systémů
- dozorovací síť (dvojnásobně redundantní)
- síť PACQ pro příjem ručních povelů a jejich přenosu do DIS pro účely kvitování, kalibrace atd.
- síť PCS (dvojnásobně redundantní)
- síť DMU (dvojnásobně redundantní) pro přenos parametrů RTS za účelem sdělování obsluze
- sériové datové linky PAMS (19 linek RS232/422/485)

Vzájemné komunikace jsou řešeny tak, aby bylo zajištěno elektrické oddělení redundantních částí i systémů různé kategorie. Komunikace bezpečnostních systémů je jednosměrná (od výše klasifikovaných k níže klasifikovaným), pomocí optických sítí. Komunikace po bezpečnostních sítích není synchronizována, aby se zabránilo vlivu na prováděcí cykly zpracujících jednotek. Komunikační prostředky jsou vybaveny autotesty a online diagnostikou.

Komunikační sítě systémů ŘSB B, C jsou průmyslové kruhové optické sítě standardu Ethernet s protokolem Pernet.

Pro koncentraci technologických dat napříč systémy a bloky EDU slouží nadbloková informační síť NLAN. Tato síť kromě jiných funkcí zpřístupňuje technologická data napříč bloky a v jednotném formátu, provádí archivaci a výpočty nad daty. Zpětný přenos z NLAN do technologických systémů není umožněn. NLAN není bezpečnostně klasifikovaným zařízením.

8 Elektrické systémy

8.1 Úvod

JE Dukovany (EDU) má 4 reaktorové bloky, které jsou z hlediska koncepce strojně-jaderné a elektrotechnické části shodné. Proto je i elektrické schéma v oblasti vyvedení výkonu a napájení vlastní spotřeby u jednotlivých bloků řešeno shodně a převážně blokově.

EDU je dispozičně uspořádána do dvou hlavních výrobních bloků (I. HVB, II. HVB), které jsou umístěny vedle sebe a každý se skládá ze dvou reaktorových bloků (1. a 2. RB; 3. a 4. RB). Reaktorové bloky jsou v rámci jednotlivých HVB, nazývaných též jako dvojbloky, uspořádány zrcadlově. Každý reaktorový blok se skládá ze dvou turbogenerátorových bloků (TG).

Členění je následující:



Obr. 97. Blokové schéma EDU a jeho začlenění do ES ČR

8.1.1 Základní principy projektu

Základní principy projektu elektrických systémů EDU vyplývají ze zajištění bezpečnosti v souladu s obecnými návrhovými kritérii státního dozoru, požadavků strojně-jaderné části i požadavků a vlastností a schopností elektrizační soustavy, do které je EDU zapojena.

Základním předpisem pro návrh elektrické části EDU z hlediska zajištění jaderné bezpečnosti byl Výnos č. 2 ČSKAE z 27. 10. 1978, který obsahuje obecná návrhová kritéria státního dozoru. Tento výnos je v současnosti nahrazen vyhláškou SÚJB č.195/1999 Sb. Zajištění jakosti vybraných zařízení z hlediska jaderné bezpečnosti vychází v současnosti z ustanovení vyhlášky SÚJB č.132/2008 Sb.

V oblasti primární části platí sovětské (ruské) normy a předpisy, pokud ekvivalentní čs. (české) technické normy a předpisy neexistují a čs. (české) technické normy a předpisy, pokud existují. V sekundární části byly použity čs. (české) technické normy a předpisy v takovém rozsahu, aby byla zajištěna spolehlivost celé elektrárny (zejména s ohledem na bezpečný provoz primární části).

8.1.1.1 <u>Seizmická odolnost</u>

Vybraná elektrozařízení zařazená do „Seznamu zařízení pro kvalifikaci EDU 1. až 4. bloku“ (skříně elektro nízkého a vysokého napětí (NN, VN), transformátory, akubaterie, střídače, usměrňovače a generátory), která jsou zařazena do seizmické kategorie 1a, musí být funkční nejen během zemětřesení, ale i po jeho odeznění. Hodnocení zařízení elektro bylo provedeno pomocí procedury GIP-VVER. Na základě této procedury byla hodnocena adekvátnost kotvení zařízení a možné seizmické interakce. Pro zařízení

nevyhovující požadavkům seizmické odolnosti byly navrženy úpravy, jejichž realizace zajišťuje seizmickou odolnost nevyhovujícího zařízení. Na základě provedených úprav lze konstatovat, že zařízení má hodnotu seizmické odolnosti vyšší jak 0,1g.

8.1.2 Základní elektrické schéma a jeho začlenění do ES ČR

Elektrické schéma a řešení části elektro je uspořádáno tak, aby výroba elektrické energie byla hospodárná a přitom byly beze zbytku splněny požadavky na jadernou bezpečnost a bezpečnost provozu elektrárny.

Na základě výše uvedených základních principů je nezbytné, aby byl správně navržen a navzájem zkoordinován pro všechny provozní a poruchové stavy:

- Elektrický systém vně jaderné elektrárny.
- Elektrický systém uvnitř jaderné elektrárny.

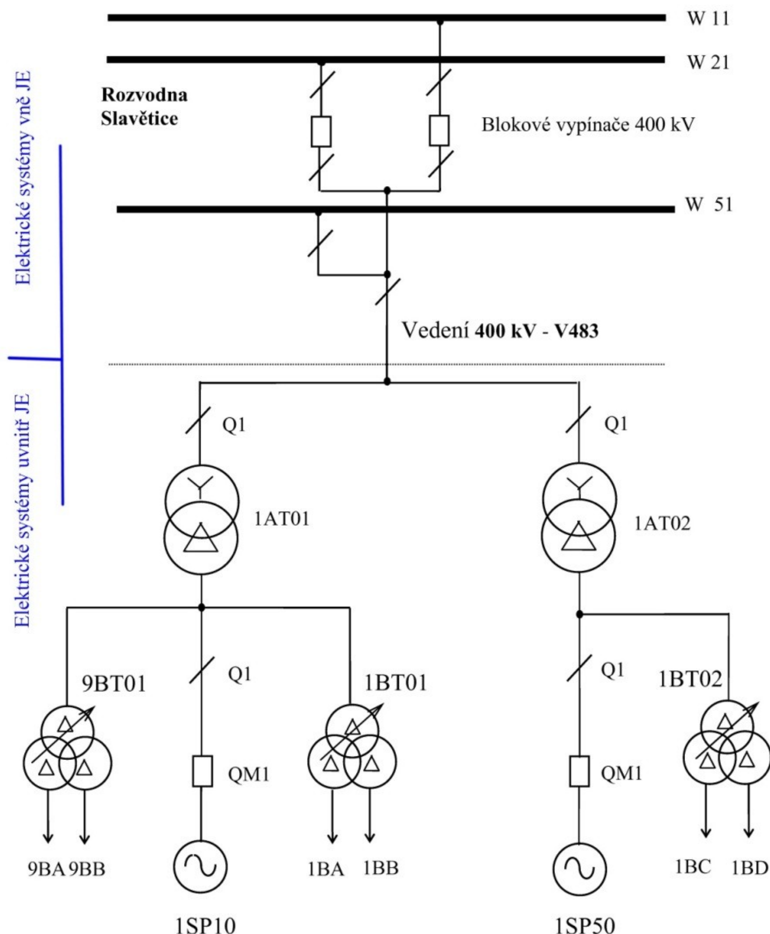
8.1.2.1 Elektrický systém vně JE

Vyvedení výkonu EDU

Elektrický výkon EDU je vyveden do přenosové soustavy 400 kV, místem připojení je rozvodna Slavětice. Rozvodna Slavětice je v přenosové soustavě zapojena dostatečně silnou vazbou tvořenou 6 vedeními 400 kV, schopnou distribuovat výkon jaderné elektrárny.

Rezervní napájení

Rezervní napájení EDU se realizuje z distribuční soustavy 110 kV. Jsou k tomu 2 dvojitá venkovní vedení 110 kV z rozvoden 110 kV Slavětice a Sokolnice. Obě rozvodny 110 kV jsou přímo napájeny z transformací 400/110 kV, které poskytují výkon pro splnění požadavků JE. Vedení 110 kV jsou trvale vyčleněna pro EDU, jsou pod napětím a kdykoli připravena k použití.



Obr. 98. Schéma vyvedení výkonu jednoho reaktorového bloku přenosové soustavy ČR

Rezervní napájení vlastní spotřeby

8.1.2.2 Elektrický systém uvnitř JE

Elektrický systém uvnitř EDU je proveden tak, aby splňoval požadavky strojně-jaderné části a respektoval vlastnosti el. sítí vně jaderné elektrárny (JE) a to zejména s ohledem na bezpečnost provozu EDU a hospodárnou výrobu elektrické energie.

Systém vyvedení výkonu

Elektrický výkon vyrobený v turbogenerátorech je po transformaci v blokových transformátorech vyváděn do přenosové soustavy (PS) 400kV. Každý z reaktorových bloků má 2 turbogenerátory (TG) s generátory o výkonu 300 MVA. Celkový činný elektrický výkon na svorkách turbogenerátorů jednoho reaktorového bloku je 500 MW. Výkon reaktorového bloku je do rozvodny Slavětice vyveden jednoduchým venkovním vedením 400 kV, pro 4 bloky jsou určena 4 vedení.

Vlastní spotřeba elektrárny

Vlastní spotřebou (VS) se v elektrárnách označuje veškerá spotřeba elektrické energie, která je nutná pro zajištění výroby elektrické energie včetně spotřeby pomocných provozů. V jaderné elektrárně Dukovany činí vlastní spotřeba 5 až 6% z vyrobené energie. Součástí vlastní spotřeby je rovněž napájení systémů zajišťujících jadernou bezpečnost elektrárny ve všech provozních i poruchových stavech. Vlastní spotřeba je řešena převážně blokově, společné provozy jsou napájeny ze zdroje společného pro všechny 4 bloky.

Kostru vlastní spotřeby tvoří elektrické sítě o různých napěťových hladinách s různým stupněm zajištění dodávky elektrické energie ke spotřebičům a s vzájemnou nezávislostí sítí. Sítě jsou navrženy dle definovaných potřeb napájení elektrických spotřebičů.

Napájení vlastní spotřeby JE se realizuje z následujících zdrojů:

Pracovní napájení

Pracovní napájení vlastní spotřeby (PNVS) je řešeno převážně blokově. Vlastní spotřeba každého z bloků je normálně napájena z pracovních zdrojů, tj. odbočkových transformátorů 15,75/6,3/6,3 kV 32/16/16MVA připojených v odbočce z vyvedení výkonu u každého z TG.

Zapojení odbočkových transformátorů spolehlivě zajišťuje napájení vlastní spotřeby nejen v režimu provozu bloku s dodávkou výkonu do sítě, ale i při režimech práce bloku kdy je zachována vazba bloku se sítí 400kV - např. při najíždění, plánovaném odstavování i při odstavování v abnormálních režimech či havarijních podmínkách na bloku.

Rezervní napájení

V případě ztráty pracovních zdrojů přechází napájení vlastní spotřeby automaticky na napájení z rezervních zdrojů připojených ze soustavy 110 kV. Zdrojem rezervního napájení pro I. HVB je dvojice řiditelných transformátorů 110/6,3 kV, každý o výkonu 40 MVA. Stejně tomu je i pro II. HVB. Každý transformátor je napájen jedním vedením 110 kV.

Nouzové napájení

Při ztrátě pracovních a rezervních zdrojů napájení vlastní spotřeby jsou pro napájení vlastní spotřeby připraveny zdroje nouzového napájení. Členění vlastnosti a dimenzování zdrojů je bezpodmínečně podřízeno požadavkům na zajištění jaderné bezpečnosti elektrárny ve všech provozních i poruchových stavech, bezpečnost osob a minimalizaci vzniku škod na zařízení.

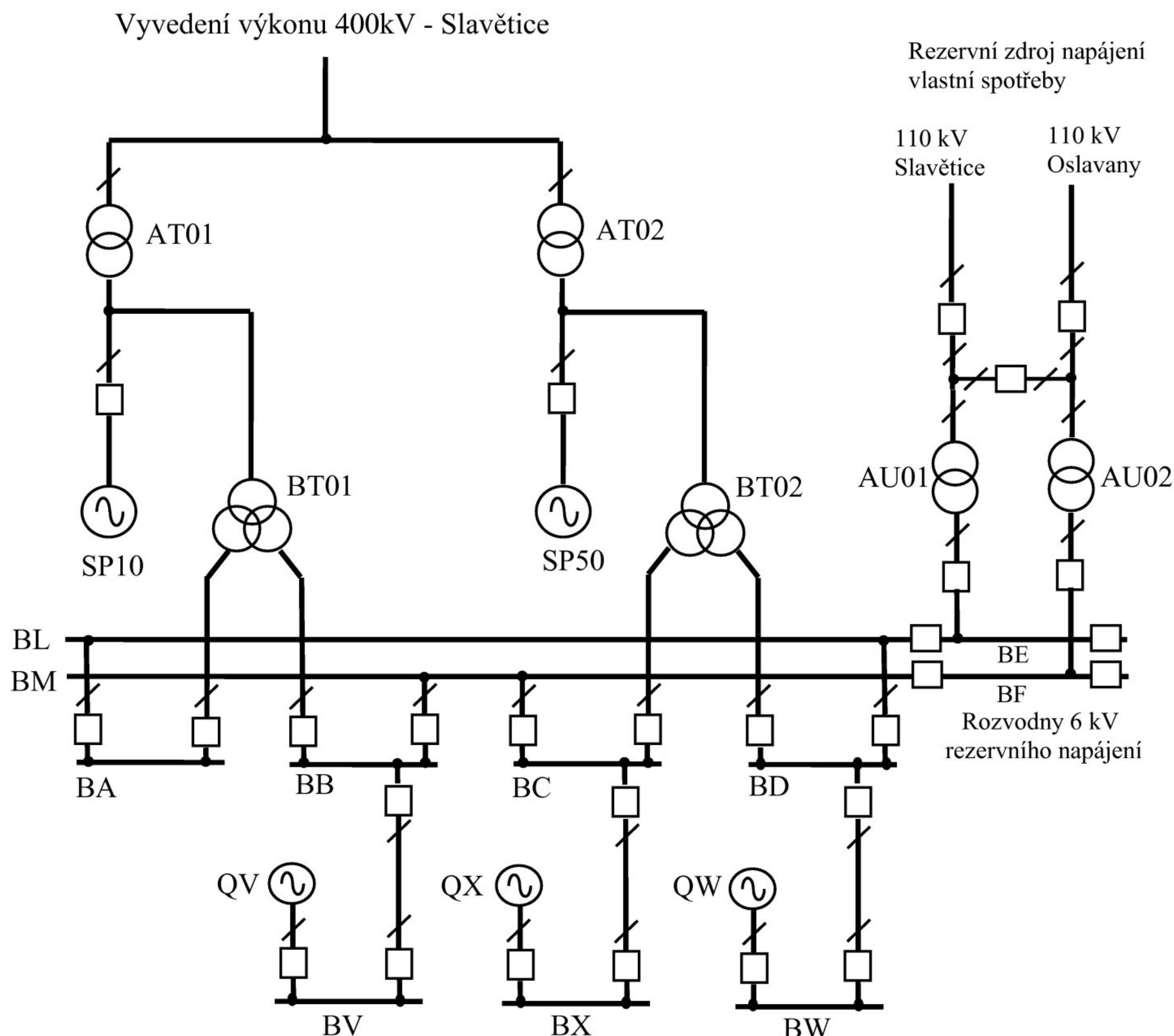
Tyto zdroje jsou tvořeny stacionárními dieselgenerátory (DG), které startují bezprostředně po ztrátě napětí a jsou během desítek vteřin k dispozici pro zatěžování. Dále jsou použity jako zdroje akumulátorové baterie, které jsou provozovány v režimu trvalého dobíjení a v případě potřeby jsou schopny dodávat energii spotřebičům po dobu v řádu hodin. Doby startu a zatěžování DG a vybíjecí doby baterií odpovídají požadavkům technologie.

Zdroje nouzového napájení jsou většinou řešeny jako vzájemně redundantní s různým stupněm redundance, v souladu s kategorizací zařízení a systémů JE.

Nouzové napájení – síť AAC

EDU je připravena řešit situace, kdy nebude mít k dispozici pracovní, rezervní ani nouzové zdroje, s výjimkou akumulátorových baterií. Tento stav je označován jako Station black out (SBO).

V JE jsou připraveny k použití další dva stacionární DG. Jsou navrženy a situovány tak, aby byla minimalizována pravděpodobnost, že budou postiženy stejnou poruchou jako všechny ostatní napájecí systémy. DG jsou určeny pro obnovení střídavého elektrického napájení v JE, zajištujícího dodávku energie určeným technologickým systémům a obnovení dobíjení akumulátorových baterií.



Obr. 99. Přehledové schéma napájení VS jednoho reaktorového bloku EDU

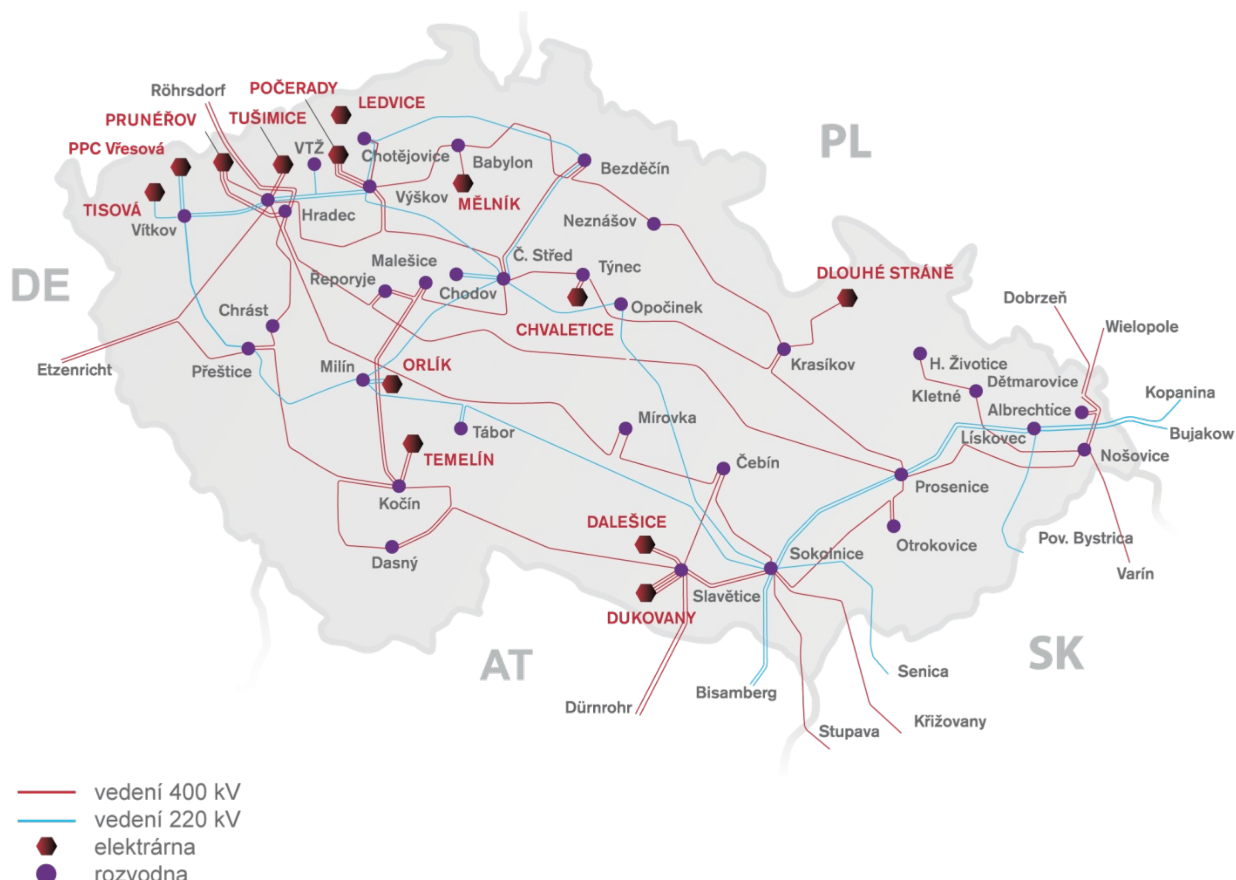
8.2 Vnější elektrický systém

8.2.1 Popis sítě 400 kV

Elektrizační soustava (ES) České republiky pracuje v synchronním propojení se soustavami střední a západní Evropy v rámci systému UCTE.

Rozvoj přenosové soustavy (PS) ČR musí respektovat provozně technické standardy shrnuté v Pravidlech provozování PS (tzv. Kodex PS) a je koncipován tak, aby v konečném stavu bylo splněno kritérium výpadku jedné linky (N-1). Přísnější požadavky jsou kladené na zapojení jaderných elektráren. Instalovaný výkon JE musí být bezpečně vyveden i při současném výpadku dvou linek (N-2) z rozvodny, přes kterou je vyveden výkon, směrem do PS.

Na soustavy sousedních států je PS ČR vázána jedenácti vedeními 400 kV a šesti vedeními 220 kV.



Obr. 100. Schéma přenosové soustavy 400 a 220 kV

8.2.2 Rozvodna 400 kV Slavětice

Rozvodna 400 kV je venkovní řadová dvousystémová se dvěma hlavními přípojnicemi s možností provozu na samostatné pomocné přípojnici. Hlavní přípojnice je dělena na dvě části spojené podélným spínačem, (pomocná přípojnice pouze odpojovač), takže lze provozovat obě části odděleně.

V rozvodně je instalován systém elektrických ochran, který je plně v souladu s koncepcí místního zálohování a odpovídá současným standardům UCTE. Základem této koncepce je selektivní vypínání úseku se zkratem (vedení, transformátor, přípojnice) v čase zpravidla do 100 ms (vypínací čas ochrany + vypínače). Ochrany chránící přenosový prvek (vedení, transformátor) jsou ve stejném místě zdvojeny ochranami s jinou konstrukcí a s jinými principy vyhodnocení poruchového stavu. Chránění je doplněno vzdáleným zálohováním.

Provoz ochranných systémů v rozvodně 400 kV Slavětice zajišťuje ČEPS a.s.

Revizní cykly ochran jsou v souladu s příslušnými normami, řádem preventivní údržby ČEPS, a.s. a doporučeními jednotlivých výrobců - pro digitální ochrany přibližně pětileté. Revize jsou koordinovány s pracemi na silovém zařízení a s odstávkami bloků). Pro elektromechanické ochrany platí roční cyklus.

Ochrany jsou nastaveny podle pokynů ČEPS, a.s. Nastavení a funkce ochran je dohodnuto a vzájemně odsouhlaseno s ČEZ.

Rozvodna Slavětice slouží jako jeden z mnoha pilotních uzlů pro regulaci napětí v soustavě. Úkolem této automatické sekundární regulace napětí (ASRU) je udržovat napětí na zadané hodnotě.

Do rozvodny Slavětice je zaústěno šest vedení 400 kV, které zajišťují vazbu EDU s vnějším el. systémem. Jedná se o následující vedení:

- Slavětice - Dasný - V433
- Slavětice - Čebín - V434
- Slavětice - Sokolnice - V435
- Slavětice - Sokolnice - V436
- Slavětice - Dürnrohr - V437
- Slavětice - Dürnrohr - V438

Vedení (V435, V436) a (V437, V438) jsou na společných stožárech a tvoří tak dvojitá vedení. Všechna vedení byla vyprojektována tak, aby nedocházelo k jejich vzájemnému křížení.

Přenosová, ani vývodová vedení nejsou, jako liniové stavby, speciálně chráněna proti zemětřesení, nepřípustnému zásahu osob a teroristickým akcím. Je to stanoveno v ustanovení vnitřního předpisu ČEPS. Důsledky nepřímých škod, které vyplývají z vnějších vlivů nebo útoku narušitele na vedení, jsou omezeny systémově vytvořením náhradních přenosových tras. Fyzická ochrana přenosového vedení se nepředpokládá.

8.2.3 Popis sítě 110 kV

Z rozvodné sítě 110 kV je při výpadku pracovních zdrojů zajištěno rezervní napájení vlastní spotřeby (VS). Pro každý hlavní výrobní blok jsou přivedena dvě venkovní vedení 110 kV z rozvodny 110 kV Slavětice a z rozvodny 110 kV Sokolnice (přes rozvodnu Oslavany).

Schéma rezervního napájení ze sítí 110 kV je na Obr. 101..

8.2.3.1 Rozvodna 110 kV Slavětice

Rozvodna 110 kV je řešena jako třísystémová, jednořadá, s pomocnou přípojnicí. Rozvodna má celkem 27 polí.

Provozní režimy rozvodny 110 kV Slavětice

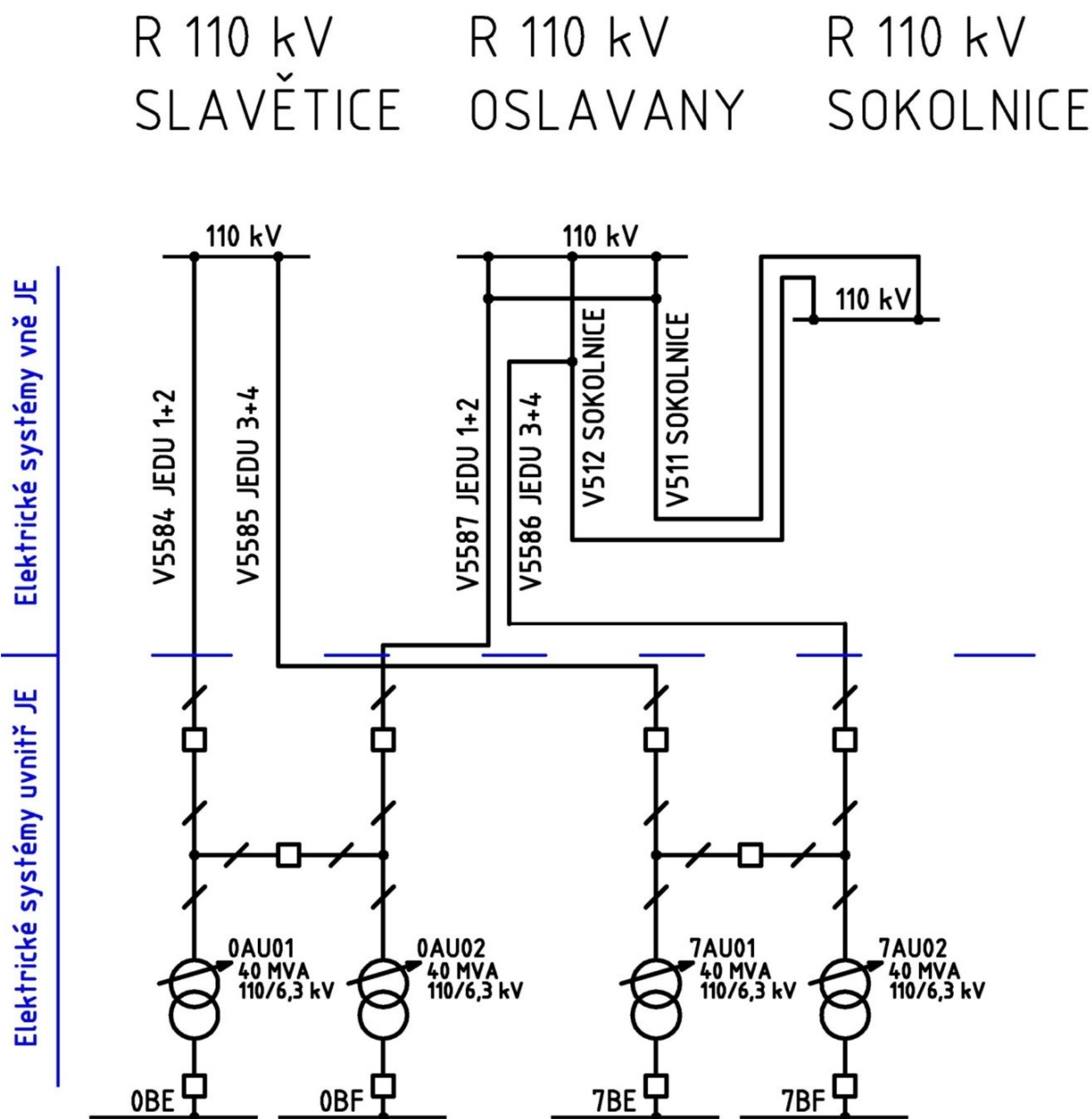
Rozvodna obsahuje dva kombinované spínače přípojnic, jeden příčný spínač přípojnice a dva spínače pomocné přípojnice. V základním zapojení je rozvodna 110 kV provozována na dva systémy přípojnic, každý systém je napájen jedním transformátorem 400/110 kV. Vedení do EDU V 5584 je napájeno z jednoho, vedení V 5585 z druhého systému přípojnic. Přípojnice jsou rozděleny příčně, nejméně jedna přípojnice musí být podélně propojena (obě vedení pro EDU jsou v 1. sekci rozvodny). Napětí v rozvodně Slavětice se udržuje na 119 ±1 kV odbočkami transformátorů 400/110 kV. Výjimku tvoří mimořádné provozní důvody (námraza, mlha apod.).

8.2.3.2 Rozvodna 110 kV Oslavany

Rozvodna atypického provedení se dvěma systémy přípojnic. Každý vývod má pouze jeden přípojnicový odpojovač na jednu sběrnu a obchozí pomocný odpojovač mezi vývody. Tyto odpojovače jsou umístěny na zvláštní konstrukci, přípojnicové svisle, pomocné vodorovně pod přípojnicovými. Rozvodna má celkem 10 polí.

Provozní režimy rozvodny 110 kV Oslavany

V základním zapojení je provoz z uzlové oblasti Čebín. Vedení V 5586 je propojeno mimo rozvodnu s V 512 z uzlové oblasti Sokolnice. Vedení V 5587 je buď propojeno mimo rozvodnu s V 511 nebo jsou obě vedení zapnuta na volnou přípojnici 110 kV. Pro EDU se těmito vedeními zajišťuje záložní rezervní napájení z uzlové oblasti Sokolnice.



Obr. 101. Schéma rezervního napájení ze sítí 110 kV

8.2.4 Provozní režimy vnějších sítí

8.2.4.1 Provozní režimy rozvodny 400/110 kV Slavětice

Síť 110 kV se provozuje dělená na jednotlivé malé sítě, napájené vždy jedním nebo dvěma transformátory z přenosové soustavy 400/110 kV (Slavětice - Čebín) nebo 220/110 kV (Sokolnice). Tyto sítě nazýváme uzlovými soustavami 110 kV se jménem napájecí uzlové rozvodny. Jejich zapojení se mění podle vyřazených zařízení, výkonů výroben a potřeb přenosové soustavy. Pro zajištění rezervního napájení EDU připadají v úvahu uzlové oblasti Slavětice, Sokolnice a Čebín. Uzlová oblast Slavětice a Sokolnice zajišťují základní režim rezervního napájení. Uzlová oblast Slavětice je nejbližší a tím i tvrdší a stabilnější zdroj rezervního napájení. Výhodou uzlové oblasti Sokolnice je jistá nezávislost na systému 400 kV. Síť 220 kV je sice v Sokolnicích se systémem 400 kV propojena transformátorem, při lokální poruše sítě 400 kV se však porucha v síti 220 kV nemusí projevit. Napájení z uzlové oblasti Sokolnice se uskutečňuje po vedení V 511 a V 512 s tím, že jsou tato vedení propojena odpojovači mimo rozvodnu Oslavany V 511 s V 5587 a V 512 s V 5586.

8.2.4.2 Provozní režimy sítě 110 kV pro RNVS EDU

Základní provozní režimy RNVS 110 kV

• V normálním provozním **režimu A** je transformátor 0AU01 napájen z rozvodny Slavětice a 0AU02 z rozvoden Oslavany/Sokolnice. Napájení je tedy zajištěno dvěma navzájem nezávislými subsystémy RNVS. Tento režim je základní a preferovaný z hlediska zajištění funkce RNVS.

• V normálním provozním **režimu B** jsou oba transformátory 0AU01, 0AU02 napájeny pouze z rozvodny Slavětice. Tento režim se předpokládá využívat pro zkoušky DG přifázováním do sítě 110 kV nebo ve stavech, kdy není k dispozici napájení z rozvoden Oslavany/Sokolnice.

• V normálním provozním **režimu C** jsou oba transformátory 0AU01, 0AU02 napájeny pouze z rozvoden Oslavany/Sokolnice. Tento režim se předpokládá využívat ve stavech, kdy není k dispozici napájení z rozvodny Slavětice.

Další provozní režimy RNVS 110 kV

• V provozním **režimu D** není jeden z transformátorů 0AU01, resp. 0AU02 provozuschopný. Napájení postižené rezervní přípojnice je ruční manipulací převedeno na transformátory 7AU01 a 7AU02.

• V provozním **režimu E** nejsou oba transformátory 0AU01, 0AU02 provozuschopné. Napájení rezervních přípojnic je ruční manipulací převedeno na transformátory 7AU01 a 7AU02.

Z hlediska Vyhlášky 195/1999 Sb. se tyto režimy RNVS řadí mezi režimy normální. Je však při nich třeba respektovat změněnou schopnost napájení zátěže.

Zakázaný provozní režim

Zakázaným provozním režimem je propojení linek, vedoucích do rozvodny Slavětice, s linkami vedoucími do rozvoden Oslavany/Sokolnice, což je zajištěno zapojením ovládacích obvodů s blokovacími podmínkami.

8.2.4.3 Obnova napájení vlastní spotřeby (VS) EDU při úplné ztrátě střídavého napájení (STATION BLACKOUT)

BLACKOUT je havárie na bloku JE charakterizovaná ztrátou vnějších zdrojů napájení (rozpad ES), nezregulováním ani jednoho ze dvou turbogenerátorů na vlastní spotřebu a nezajištění napájení od žádného ze tří DG. Jedná se o nadprojektovou havárii.

Pokud nastala ztráta zdrojů VS bloku EDU (STATION BLACKOUT) nebo ztráta napětí v rozvodně Slavětice a elektrizační soustavě je možné obnovit napětí na bloku v EDU případně v uzlu rozvodny Slavětice těmito způsoby:

• Obnova napájení z vedení V5586 nebo V5587

Provádí se, pokud je vedení z Oslavan V5586 nebo V5587 pod napětím (viz Obr. 101.)

• Obnova napájení v rozvodně Slavětice z Rakouska

Provádí se, pokud je možné přes vedení V437 Dürnrohr - Slavětice obnovit napětí v rozvodně Slavětice

• Obnova napájení z EDA přes vedení 110 kV

Pokud je v EDA alespoň jeden generátor v provozu nebo v náběhu na VS a RZSLA je provozuschopná s alespoň jedním transformátorem 400/110 kV přivede se napájení z EDA přes vedení 110 kV na vydělenou přípojnici v rozvodně Slavětice a poté do VS EDU.

• Obnova napájení z elektrárny Dalešice po vedení 400 kV

Pokud je v elektrárně Dalešice alespoň jeden generátor v provozu přivede se napájení z elektrárny Dalešice po vedení 400 kV na postižený blok EDU.

• Obnova napájení z vodní elektrárny Vranov po vedení 110 kV

Pokud je v elektrárně Vranov provozuschopný alespoň jeden generátor, lze napájet VS EDU z této elektrárny. Toto bylo ověřeno zkouškami dne 14. 12. 2010 (4. RB) a 30. 4. 2012 (2. RB). Elektrárna Vranov je schopna startu ze tmy.

• Obnova napájení z bloku EDU přes přípojnice BL (BM)

Pokud zreguloval v EDU alespoň jeden blok na VS přivede se přes sběrnice BL nebo BM napájení na postižený blok.

• Obnova napětí z pracujícího bloku EDU přes rozvodnu Slavětice

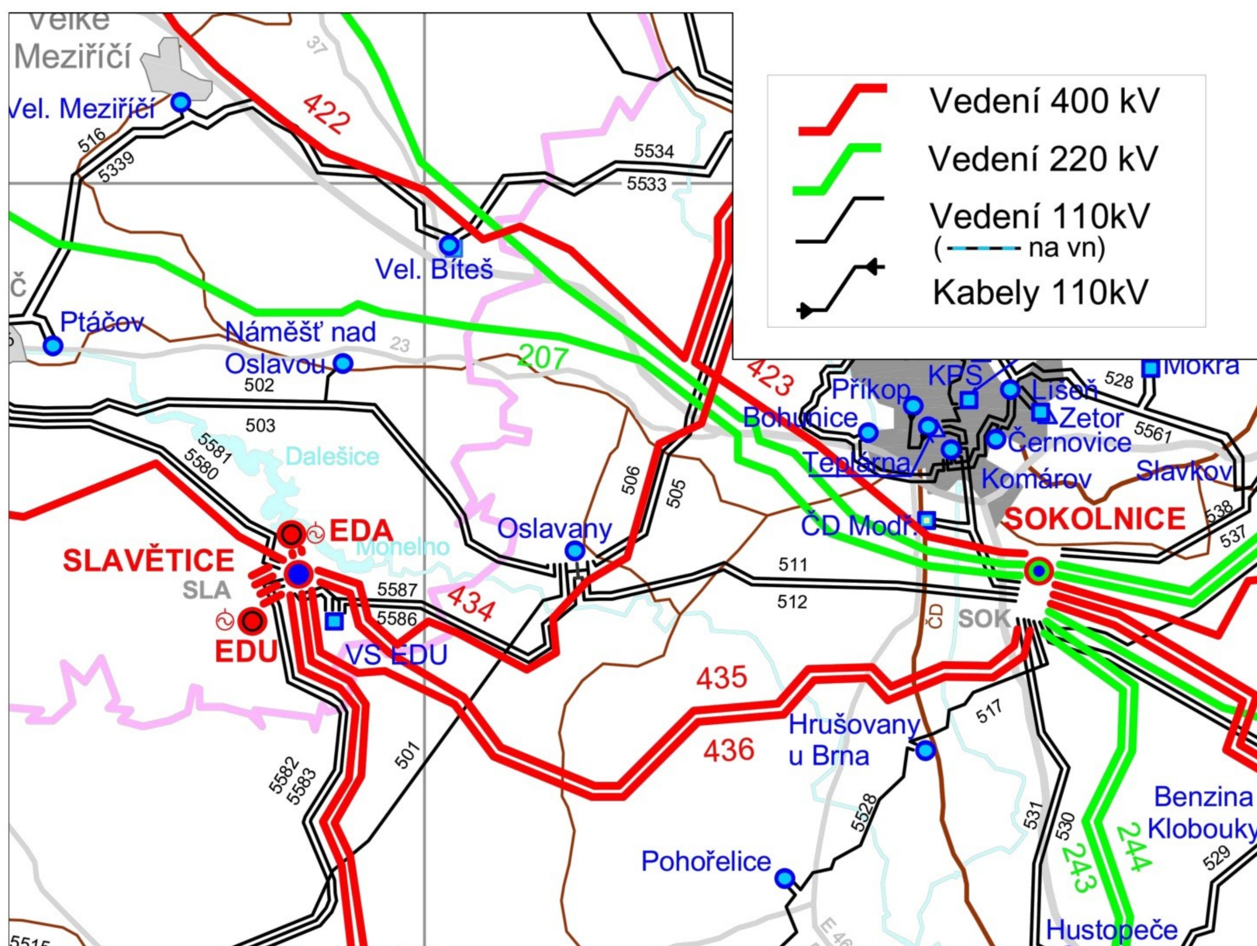
Pokud zreguloval v EDU alespoň jeden blok na VS a rozvodna 400 kV ve Slavěticích je provozuschopná přivede se napájení na postižený blok EDU z pracujícího bloku EDU přes rozvodnu Slavětice. A to buď přes vedení 110 kV nebo blokové vedení 400 kV.

• Obnova napětí z dieselgenerátoru přes přípojnice

Pokud nezreguloval v EDU žádný blok na VS přivede se napětí na postižený blok z DG jiného bloku přes přípojnice rezervního napájení.

• Obnova napětí z AAC-DG

V případě SBO kteréhokoli bloku, případně všech bloků současně jsou ručně nastartovány AAC-DG. Každý AAC-DG je prostřednictvím AAC sítě připojitelný ke všem rozvodnám 6kV každého z bloků. Trasa napájení se volí ruční manipulací z připravených pracovišť.



Obr. 102. Schéma sítí 400 kV, 220kV a 110 kV v okolí elektrárny Dukovany

8.3 Elektrické systémy v elektrárně

V této kapitole jsou popsány a analyzovány elektrické systémy, které zajišťují pracovní, rezervní a nouzové napájení vlastní spotřeby bloků EDU. V popisech je kladen důraz na ty aspekty, které vyjadřují schopnost elektrických systémů zajistit bezpečnost EDU.

8.3.1 Základní projektové principy

Základní koncepce řešení hlavních uzlů schématu vlastní spotřeby byla stanovena sovětským Technickým projektem a v průběhu projektového procesu byla dopracována v Úvodním projektu. K další úpravě koncepce zajišťující zvýšení spolehlivosti elektrických systémů došlo za provozu JE na základě rozhodnutí ČSKAE na SZN4.

Koncepce schématu vlastní spotřeby navazuje na řešení strojně-jaderné části EDU. Koncepce je shodná pro všechny 4 bloky EDU.

V úvodním projektu EDU (03/1979) a později na základě dokumentů IAEA byla zavedena klasifikace elektrických spotřebičů, zdrojů a sítí podle funkce (důležitost z hlediska jaderné bezpečnosti a z hlediska výroby el. energie) a přípustné doby výpadku napájení. Na základě této klasifikace byly ve strojně-jaderné části a v části SKŘ stanoveny požadavky na napájení. Spotřebiče elektrické energie byly rozděleny do skupin podle důležitosti a přiřazeny do systémů zajištěného napájení (SZN) nebo nezajištěného napájení. Klasifikace na základě IAEA byla na EDU zavedena v rámci zpracování seznamů vybraných zařízení podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb.

Na základě výše uvedených požadavků jsou ve schématu vlastní spotřeby vytvořeny napájecí zdroje a rozvodné sítě. V souladu s celkovou bezpečnostní koncepcí jsou i v elektrické části aplikovány principy ochrany do hloubky. Spočívají v tom, že je VS normálně napájena z pracovních zdrojů připojeným k síti 400 kV a k vlastním TG 300 MVA. Při ztrátě vazby bloku s vnější sítí 400 kV regulují TG na VS. Při ztrátě pracovního napájení se vybraná část zátěží vlastní spotřeby převádí na rezervní zdroje. V případě ztráty pracovního i rezervního napájení jsou systémy důležité z hlediska bezpečnosti (bezpečnostní systémy a systémy související s bezpečností) zásobovány elektrickou energií nouzovými zdroji a systémy zajištěného napájení.

Pro zajištění maximální plynulosti napájení el. spotřebičů jsou v elektrickém schématu instalovány regulační systémy, režimové automatiky a elektrické ochrany.

8.3.2 Současná klasifikace elektrických spotřebičů, zdrojů a sítí

Klasifikace elektrických spotřebičů, zdrojů, napájecích systémů a rozvodných sítí respektuje základní rozdělení všech systémů, konstrukcí a zařízení (dále jen systémy) na EDU z hlediska zajištění jaderné bezpečnosti zavedené v Seznamu vybraných zařízení podle vyhlášky 132/2008 Sb.

Ve smyslu návodů IAEA a v souladu s přijatou praxí na JE i v mezinárodním měřítku jsou všechny systémy na JE z hlediska jaderné bezpečnosti rozděleny na:

- nedůležité z hlediska jaderné bezpečnosti (SNB) - neplní žádnou bezpečnostní funkci,
- důležité z hlediska jaderné bezpečnosti - plní alespoň některou bezpečnostní funkci.

Důležité systémy jsou dále podle jejich funkce a významu pro jadernou bezpečnost rozděleny na:

- bezpečnostní systémy (BS) - ochranné a řídicí, výkonné (akční), podpůrné,
- systémy související s jadernou bezpečností (SSB) - ochranné a řídicí, výkonné, podpůrné.

Elektrické napájecí systémy plní podpůrnou funkci pro ostatní BS nebo SSB (ochranné a řídicí, výkonné). Přitom je respektována zásada, že na podpůrné funkce

(systémy) se kladou stejné požadavky jako na funkce (systémy), které jsou podporovány (zajišťovány).

8.3.2.1 Skupiny důležitosti elektrických spotřebičů

Rozdělení spotřebičů podle důležitosti:

D11, BS

Důležité spotřebiče plnící bezpečnostní funkce v rámci bezpečnostních systémů (BS), kladoucí zvýšené požadavky na spolehlivost napájení, nepřipouštějící dle podmínek bezpečnosti přerušení napájení na dobu delší než zlomky sekundy ve všech režimech včetně úplné ztráty pracovních a rezervních zdrojů VS.

D11, SSB

Důležité spotřebiče plnící bezpečnostní funkce v rámci systémů souvisejících s bezpečností (SSB), kladoucí požadavky na spolehlivost napájení, nepřipouštějící dle podmínek bezpečnosti přerušení napájení na dobu delší než zlomky sekundy ve všech režimech včetně úplné ztráty pracovních a rezervních zdrojů VS.

D11, SNB

Nedůležité spotřebiče, kladoucí požadavky na spolehlivost napájení z hlediska zajištění bezpečnosti osob a drahých zařízení, nepřipouštějící přerušení napájení na dobu delší než zlomky sekundy ve všech režimech včetně úplné ztráty pracovních a rezervních zdrojů VS.

Do skupiny D11 se dále řadí ty spotřebiče RRCS, vyžadující zajištěné napájení pro překlenutí několik sekund trvajících přechodových procesů v elektrizační soustavě (pro odvrácení zapůsobení RTS), které nepotřebují elektrické napájení v režimu úplné ztráty pracovních i rezervních zdrojů vlastní spotřeby.

D12, BS

Důležité spotřebiče plnící bezpečnostní funkce v rámci bezpečnostních systémů (BS), kladoucí zvýšené požadavky na spolehlivost napájení, připouštějící přerušení napájení na dobu určenou podmínkami bezpečnosti (od desítek sekund do několika minut) ve všech režimech včetně úplné ztráty pracovních a rezervních zdrojů VS.

D12, SSB

Důležité spotřebiče plnící bezpečnostní funkce v rámci systémů souvisejících s bezpečností (SSB), kladoucí požadavky na spolehlivost napájení, připouštějící přerušení napájení na dobu určenou podmínkami bezpečnosti (od desítek sekund do několika minut) ve všech režimech včetně úplné ztráty pracovních a rezervních zdrojů VS.

D12, SNB

Nedůležité spotřebiče, kladoucí požadavky na spolehlivost napájení z hlediska zajištění bezpečnosti osob a drahých zařízení, připouštějící přerušení napájení na dobu od desítek sekund do několika minut ve všech režimech včetně úplné ztráty pracovních a rezervních zdrojů VS.

D1

Spotřebiče SNB, zapojené do technologického procesu elektrárny. Přerušení jejich chodu má za následek odstavení bloku nebo snížení výkonu. Maximální doba přerušení el. napájení je dána automatickým zapnutím rezervního zdroje. Pohony nemusí pracovat při rychlém odstavování a dochlazování bloku.

D2

Spotřebiče SNB, zapojené do technologického procesu elektrárny. Maximální doba přerušení el. napájení odpovídá ručnímu zapnutí rezervního zdroje, tj. cca 15 min.

N

Spotřebiče SNB, nevyžadující rezervní napájení. Přerušení napájení nemá za následek výpadek ani snížení výkonu bloku.

8.3.2.2 Přehled klasifikace zdrojů, sítí a SZN vlastní spotřeby

Pro napájení elektrospotřebičů vlastní spotřeby EDU jsou na základě jejich důležitosti vytvořeny sítě různých kategorií zajištěnosti napájení, které jsou začleněny do SZN. Tyto rozvodné sítě jsou v závislosti na kategorií zajištěnosti napájení napájeny z pracovních, rezervních nebo nouzových zdrojů.

Následující tabulka udává přehled o přiřazení spotřebičů definované důležitosti ke zdrojům, sítím, SZN a napěťovým hladinám.

Spotřebiče o důležitosti	**Kategorie (zajištěného) napájení sítě** **SZN**	**Zdroj napájení**	**Napěťové soustavy**
D11, BS	I. SZN 1,2,3	• Pracovní • Rezervní • Nouzové (akubaterie, ANN, DG, AAC-DG)	220 V DC, 220/380 V AC 24 V, 48 V DC
D12, BS	II. SZN 1,2,3	• Pracovní • Rezervní • Nouzové (DG, AAC-DG)	220/380 V AC 230/400 V AC 6 kV AC
D11, SSB D11, SNB D11, RRCS	III/I. SZN 4, 5	• Pracovní • Rezervní • Nouzové (akubaterie, ANN, DG, AAC-DG)	220 V DC, 220/380 V AC
D12, SSB D12, SNB	III/II. SZN 4	• Pracovní • Rezervní • Nouzové (DG, AAC-DG)	220 V AC 6 kV AC
D1	III.	• Pracovní • Rezervní	220/380 V AC 6 kV AC
D2	III.	• Pracovní • Rezervní	220/380 V AC 6 kV AC
N	III.	• Pracovní 1)	220/380 V AC 6 kV AC

8.3.3 Zdroje a sítě vlastní spotřeby

Ideové schéma struktury a vazeb mezi napájením elektrospotřebičů, elektrickými sítěmi různých kategorie, SZN a zdroji je uvedeno na Obr. 103..

8.3.3.1 Zdroje vlastní spotřeby

Pracovní zdroje

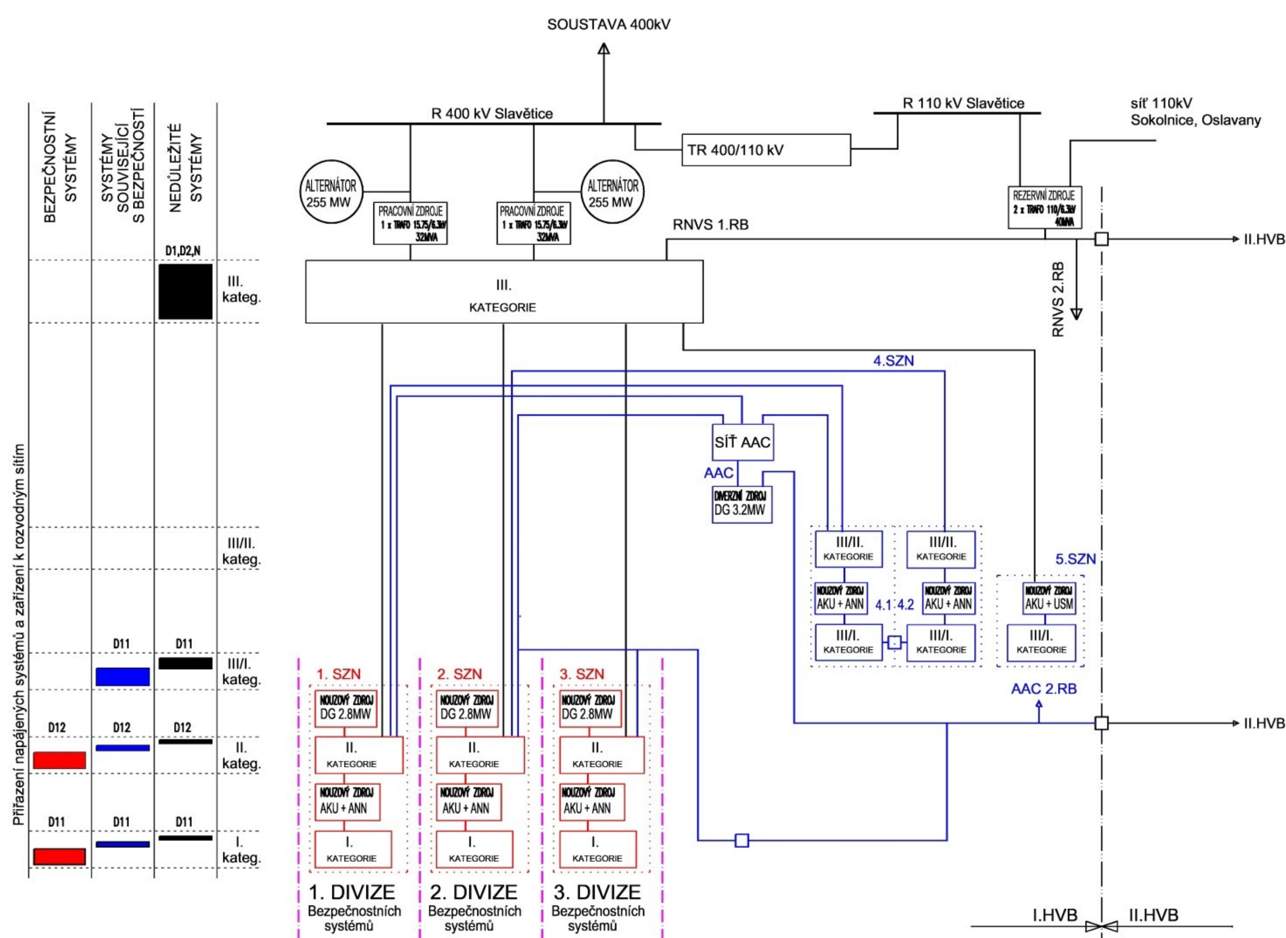
Napájení vlastní spotřeby reaktorového bloku zajišťují 2 odbočkové trojvinuťové transformátory 15,75/6,3/6,3 kV o výkonu 32/16/16 MVA (nBT01, nBT02), které umožňují

regulovat napětí ve VS přepínáním odboček vinutí vyššího napětí. Přívody k těmto transformátorům jsou provedeny samostatným odbočením ze zapouzdřených vývodů alternátorů v úseku mezi generátorovými vypínači a blokovými transformátory.

Tyto odbočkové transformátory mohou být napájeny z příslušného generátoru 300 MVA (v případě jeho poruchy mohou být napájeny z druhého generátoru stejného RB) nebo z rozvodny 400 kV Slavětice, do které je vyveden výkon bloku. Podrobnější popis vyvedení výkonu bloku je uveden v kapitole 8.3.4.

Z každého vinutí 6,3 kV odbočkových transformátorů jsou přes izolované stíněné vodiče napájeny 4 rozvodny blokové vlastní spotřeby 6 kV (nBA, nBB, nBC, nBD).

Výše popsané zapojení odbočkových transformátorů spolehlivě zajišťuje napájení vlastní spotřeby nejen v režimu provozu bloku s dodávkou výkonu do sítě, ale i při jiných režimech práce bloku, kdy je zachována vazba se sítí 400 kV. Takto je možno zabezpečit napájení vlastní spotřeby např. při odstaveném reaktorovém bloku, při spouštění bloku i abnormálních režimech a havarijních podmínkách na bloku. V těchto případech je vlastní spotřeba bloku napájena ze sítě 400 kV přes blokové transformátory a odbočkové transformátory.



Obr. 103. Ideové schéma zdrojů a sítí vlastní spotřeby JEDU

Rezervní zdroje

Rezervním zdrojem bloku je dvojice řiditelných transformátorů 110/6,3 kV, každý o výkonu 40MVA, které jsou společné pro každý reaktorový dvojblok (I.HVB resp. II.HVB). Rezervní transformátory jsou napájeny z rozvodny 110 kV umístěné v areálu EDU (každý HVB má 1 rozvodnu 110 kV). Každá rozvodna 110 kV je do sítě připojena dvěma linkami - jednou z rozvodny 110 kV Slavětice a jednou z rozvodny 110 kV Sokolnice. Každý z

dvojice transformátorů je napájen z jedné z linek, v případě ztráty napětí na jedné z nich, přechází automaticky napájení obou transformátorů na jednu nepostiženou linku.

Z vinutí nižšího napětí rezervního transformátoru 0AU01(7AU01) je napájena rozvodna rezervního napájení 6 kV 0BE(7BE) a z vinutí nižšího napětí transformátoru 0AU02(7AU02) je napájena rozvodna rezervního napájení 6 kV 0BF(7BF). Z těchto rozvoden je pomocí rezervních přípojnic BL a BM přivedeno napětí na vstup rezervních přívodů blokových rozvoden 6 kV (nBA, nBB, nBC, nBD). Blokové rozvodny se přepínají na rezervní napájení automatickým záskokem v případě ztráty pracovního napájení.

V jednotlivých úsecích magistrály rezervního napájení jsou rezervní přípojnice BL, BM provedeny jako zapouzdřené vodiče 2,5 kA/6 kV se vzduchovou izolací.

S rozvodnami rezervního napájení 6 kV na I. HVB (0BE, 0BF) lze v případě potřeby propojit přes podélné přípojnice 9BL, 9BM rozvodny rezervního napájení 6 kV II. HVB (7BE, 7BF). To umožňuje vzájemné zálohování zdrojů RNVS obou HVB.

Rezervní zdroje se využívají pro napájení VS při ztrátě pracovního napájení blokových R 6 kV. Může se jednat jak o úplnou ztrátu pracovního napájení bloku, tak o dílčí výpadky pracovního napájení jednotlivých blokových R 6 kV.

Nouzové zdroje a SZN

V souladu se systémem klasifikace zavedeným při zpracování seznamů vybraných zařízení dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. jsou ve schématu vlastní spotřeby vytvořeny příslušné rozvodné sítě a napájecí zdroje, včetně SZN.

SZN jsou pro případ ztráty pracovních i rezervních zdrojů VS vybaveny nouzovými zdroji el. napájení. Nouzové zdroje jsou instalovány v areálu EDU a jejich funkceschopnost nezávisí na stavu pracovních a rezervních zdrojů ani vnější sítě. Nouzové zdroje a SZN jsou chráněny před vnitřními a vnějšími vlivy (počasí, poruchy v technologii). Tím je zajištěno autonomní elektrické napájení systémů důležitých pro bezpečnost.

Nouzovými zdroji každého SZN jsou automatické rychlestartující dieselgenerátory, staniční akumulátorové baterie a agregáty nepřerušeného napájení (ANN - usměrňovače a střídače).

SZN 1,2,3

Pro napájení bezpečnostních systémů byly v souladu se základní koncepcí tří redundantních a nezávislých divizí bezpečnostních systémů na každém z bloků vytvořeny tři systémy zajištěného napájení SZN (3x 100 %). Každý z těchto SZN (označený jako 1, 2, 3) slouží jako podpůrný bezpečnostní systém pro ostatní bezpečnostní systémy své divize. SZN 1,2,3 jsou zařazeny do BT2 podle vyhlášky 132/2008 Sb.

SZN má vlastní DG (Un = 6,3 kV, Pn = 2,8 MW, Sn = 3,5 MVA - pro napájení sítě II. kategorie zajištěného napájení) a vlastní nouzový zdroj sítě I. kategorie. Ten je tvořen staničními akumulátorovými bateriemi a agregáty nepřerušeného napájení (ANN) tvořenými usměrňovači a střídači.

Pro zajištění potřebné míry redundance jsou tyto SZN i jejich nouzové zdroje nezávislé a vzájemně oddělené dispozičně (stavebně, požárně), elektricky i z pohledu řídicího systému. Aby mohla daná divize zajišťovat požadované bezpečnostní funkce, musí být funkceschopné nouzové zdroje pro síť I. i II. kategorie.

SZN 4

Pro napájení části systémů souvisejících s jadernou bezpečností (SSB) a napájení systémů nedůležitých z hlediska jaderné bezpečnosti (SNB), které však zajišťují obecnou bezpečnost osob a drahých zařízení, slouží SZN4. SZN 4 je zařazen do BT3 podle vyhlášky 132/2008 Sb.

SZN4 je koncipován jako dva subsystémy (4.1, 4.2), které se vzájemně zálohují podle principu 100+100 %. Nouzovým zdrojem každého subsystému je staniční akubaterie a DG SZN1 (resp. SZN2).

SZN 5

Tento SZN slouží pro překlenutí krátkodobých přechodových procesů v elektrizační soustavě a v síti III. kategorie VS spojených s poklesy napětí (zkraty, AZR), které by mohly způsobit nadbytečný pád kazet HRK do reaktoru. SZN5 je proto klasifikován jako SSB a je zařazen do BT3 podle vyhlášky 132/2008 Sb. Nouzovým zdrojem 5. SZN je staniční akubaterie.

Diverzní nouzové zdroje

Pro případ SBO je EDU vybavena diverzními zdroji el. napájení. Diverzní zdroje jsou umístěné v areálu EDU a jejich funkceschopnost nezávisí na stavu vnější sítě, pracovních, rezervních ani nouzových zdrojů SZN. Diverzní zdroje jsou vzájemně vzdálené jak od HVB, tak i od DG SZN a jsou chráněny před extrémními klimatickými vlivy a poruchami v technologii. Tím se snižuje pravděpodobnost, že budou tyto diverzní zdroje současně vyřazeny z funkce iniciační událostí, která způsobila SBO.

Diverzními zdroji jsou dieselgenerátory (AAC-DG - (Un = 6,3 kV, Pn = 3,2 MW, Sn = 4,0 MVA), které startují ručně na povel obsluhy. AAC-DG jsou zařazeny do BT3 podle vyhlášky 132/2008 Sb.

8.3.3.2 Rozvodné sítě elektrického napájení

Rozvodné sítě se člení podle kategorie zajištěnosti, podle napěťové soustavy a podle vzdálenosti od zdroje ve struktuře elektrického schématu.

A. Členění podle kategorie zajištěnosti.

Toto členění přímo navazuje na klasifikaci systémů na EDU podle vztahu k jaderné bezpečnosti a rozdělení elektrospotřebičů do skupin dle důležitosti. Podle těchto požadavků jsou na EDU sítě:

I. kategorie zajištěného napájení

Slouží pro napájení spotřebičů důležitosti (D11, BS). Nouzovými zdroji jsou akubaterie a ANN. Síť je vytvořena v HVB a DGS v napěťových hladinách 220/380 V AC, 220 V DC, 48 V DC a 24 V DC. Z napětí 220 V DC jsou napájené střídače, které napájí střídavé úsekové rozvaděče 0,38 kV I. kat. ZN. Jednotlivé systémy ZN I. kat. (1., 2. a 3. systém) jsou vzájemně rovnocenné a napájí důležité spotřebiče (např. měření, signalizaci, ochrany, regulátory a automatiky technologických zařízení primárního okruhu), které zajišťují jadernou bezpečnost bloku.

II. kategorie zajištěného napájení

Slouží pro napájení spotřebičů skupiny důležitosti (D12, BS). Nouzovými zdroji jsou DG jednotlivých SZN a diverzními zdroji AAC-DG. Síť je vytvořena v HVB a DGS v napěťových hladinách 220/380 V AC a 6 kV AC.

Ze sítí I. a II. kategorie mohou být napájeny i spotřebiče s nižší důležitostí ((D11, SSB), (D12, SSB), (D12, SNB),...), např. z důvodu redundance napájení, požadavku na kvalitu napětí a podobně, a sítě nižší kategorie (III/I., III/II.), které však nesmí narušit funkci bezpečnostních systémů (BS).

III/I. kategorie zajištěného napájení

Slouží pro napájení spotřebičů skupiny důležitosti (D11, SSB), (D11, SNB) a (D11, RRCS). Nouzovými zdroji jsou akubaterie a ANN. Síť je vytvořena v HVB i v některých dalších objektech v napěťových hladinách 220 V DC, 220/380 V AC, 60 V DC a 48 V DC.

III/II. kategorie zajištěného napájení

Slouží pro napájení spotřebičů skupiny důležitosti (D12, SSB) a (D12, SNB). Nouzovými zdroji jsou DG SZN 1,2,3, diverzními zdroji AAC-DG. Síť je vytvořena v HVB s propojením na příslušný AAC-DGS v napěťových hladinách 220/380 V AC a 6 kV AC.

III. kategorie napájení

Slouží pro napájení spotřebičů systémů nedůležitých z hlediska jaderné bezpečnosti (důležitost D1, D2, N), které převážně kryjí vlastní spotřebu elektrárny při výrobě el. energie. V závislosti na skupině důležitosti spotřebičů jsou rozvodná zařízení vybavena automatickým, ručním nebo žádným záskokem napájení. Síť je vytvořena prakticky ve všech objektech v napěťových hladinách a 6 kV AC, 220/380 V AC, 175/100 V AC.

B. Členění podle napěťové soustavy

a) 3 ~ 50 Hz 6 kV/IT, ochrana zemněním a uvedením na stejný potenciál
Pro napájení motorů od 160 kW výše a transformátorů 6 kV/nn.

b) 3PEN ~ 50 Hz 380 V/TN-C, ochrana nulováním příp. i s pospojováním
Pro napájení motorů do 160 kW, osvětlení, usměrňovačů ,...

c) 3PEN ~ 50 Hz 380 V/TN-C, 2PE – 220 V/IT
Střídavo-stejnosměrný rozvod pro napájení nouzového osvětlení. Ochrana nulováním /~/ resp. zemněním /=/.

d) 3 ~ 50 Hz 175 V/IT, ochrana zemněním
Pro napájení pohonů kazet HRK.

e) 2 – 220 V=/IT - ochrana zemněním
Pro napájení stejnosměrných spotřebičů důležitosti I. a III/I.

f) 2 – 48 V=/TN - ochrana zemněním, uzemněn - pól
Pro napájení poruchové signalizace bloku, ústřední el. dozorny a jednotek ŘSBS.

g) 2 – 24 V=/IT - ochrana malým napětím PELV
Pro napájení části vlastní spotřeby DGS.

h) 220/380V AC TN-S – ochrana samočinným odpojením od zdroje
Pro nové rozvody napájení obnoveného SKŘ I., III/I. kategorie (napájené ze sítí TN-C).

i) 48V DC IT (PELV)
Pro sítě I. kategorie napájení obnoveného SKŘ (prostředky SKŘ klasifikované jako BS).

j) 48V DC IT (PELV)
Pro síť III/I. kategorie napájení obnoveného SKŘ (prostředky SKŘ klasifikované jako SSB).

C. Členění podle místa ve struktuře elektrického schématu

Toto členění souvisí s užívaným názvoslovím. Rozvod, který je bezprostředně u napájecích zdrojů (většinou transformátorů), se označuje jako hlavní. Na EDU se jedná o blokové rozvodny 6 kV a úsekové rozváděče nn, přímo napájené z transformátorů 6 kV/nn, nebo z akubaterií a usměrňovačů na SZN.

Další stupeň (stupně) rozvodu, který je napájen z blokových R 6kV nebo úsekových rozváděčů, se nazývá podružný. Rozvodny a rozváděče v tomto rozvodu se nazývají podružné.

8.3.4 Systém vyvedení výkonu EDU

V tomto odstavci je popsán uzel vyvedení výkonu bloku VVER440 a odbočkových transformátorů. Schéma zapojení EDU do elektrizační soustavy je na Obr. 98.. Výkon obou turbogenerátorů 255MW (viz Obr. 104.), 300MVA na každém bloku je dvěma blokovými transformátory 300 MVA, 420/15,75 kV (AT01, AT02) vyváděn do rozvodny 400 kV Slavětice.

8.3.4.1 Turbogenerátor 300 MVA

Základní parametry

• turboalternátor typ stroje BRUSH 2H 6688/2-VH,
• jmenovitý činný výkon 255 MW,
• jmenovitý zdánlivý výkon Sn = 300 MVA,
• jmenovité svorkové napětí statoru Usn = 15,75 kV.



Obr. 104. Turbogenerátor EDU

8.3.4.2 Systém buzení a regulace napětí turbogenerátoru

Turbogenerátor výkonu 300MVA je vybaven systémem přímého buzení. Do rotoru stroje pracuje budicí souprava s číslicovými regulátory a usměrňovači, které jsou napájeny ze statoru turbogenerátoru přes budicí transformátor nET12 (závislá budicí souprava). Budicí souprava je umístěna v rozváděči nSR10.

8.3.4.3 Generátorový vypínač

Hlavní funkcí generátorového vypínače je připojení generátoru k PS 400 kV při dodržení podmínek synchronizace, vypnutí zkratového proudu ze sítě při poruše v generátoru a spolehlivé odpojení TG při vzniku poruchy v síti nebo na BVS (SVS). Zapnutí vypínače při synchronizaci TG s PS 400 kV se provádí automatickým fázovačem. Vypnutí zajišťují dvě nezávislé vypínací cesty, které se vzájemně zálohují.

Generátorový vypínač (GV) je schopen vypínat jmenovité proudy při provozních manipulacích a zkratové proudy při působení ochran. Jeho zařazení do podsystému vyvedení výkonu dále umožňuje spouštění RB ze studeného stavu - při vypnutém GV lze přes blokový a odbočkový transformátor napájet z PS 400kV současně dvě rozvodny 6 kV BVS.



Obr. 105. Generátorový vypínač

8.3.4.4 Blokové transformátory 300MVA

Blokové transformátory nAT01 a nAT02 slouží:

- k transformaci elektrické energie o napětí 15,75 kV vyráběné v generátorech na napětí 400 kV,
- k vyvedení elektrické energie přes rozvodnu 400 kV nAA a blokovým vedením do rozvodny 400 kV Slavětice a dále do elektrizační soustavy,
- k přivedení elektrické energie z elektrizační soustavy přes rozvodnu 400 kV Slavětice do vlastní spotřeby bloku přes transformátory blokové (společné) vlastní spotřeby nBT01,02.

Na EDU jsou na každém bloku 2 blokové transformátory, tj. celkem je instalováno 8 blokových transformátorů.

Základní parametry

- Jmenovitý výkon 300 MVA
- Druh chlazení ODAF
- Jmenovitý kmitočet 50 Hz
- Jmenovité prim. napětí 420 kV
- Jmenovité sek. .napětí 15,75 kV
- Spojení YNd1



Obr. 106. Blokový transformátor

8.3.4.5 Odbočkové transformátory

Transformátory blokové vlastní spotřeby (tj. odbočkové transformátory) slouží:

- k transformaci elektrické energie se jmenovitým převodem 15,75/6,3/6,3 kV a zajištění pracovního napájení rozvoden 6 kV blokové vlastní spotřeby (BVS),

- k regulaci napětí v síti 6 kV BVS při různých provozních stavech vlastní spotřeby bloků, včetně změn napětí na straně 15,75 kV (způsobených např. změnami v regulaci napětí na generátorech či změnami napětí ve vnější síti).

Základní parametry

- transformátor vlastní spotřeby typ 60 T 189 / 122 - ČKD Praha (nBT01, nBT02),
- jmenovitý výkon 32/16/16 MVA,
- jmenovité napětí 15,75 *8 x 2 % / 6,3 / 6,3 kV,
- zapojení D / d0 / d0.



Obr. 107. Odbočkový transformátor

8.3.4.6 <u>Provozní stavy, režimy a řízení turbogenerátoru a elektrického bloku</u>

Pro účely popisů a kontrol schématu vlastní spotřeby EDU a pro zajištění koordinace el. schématu s režimy strojní a jaderné části bylo v projektu elektro části přijato následující dělení provozních režimů bloku:

R1 najíždění bloku

R2 normální provoz bloku na výkonu se dvěma soustrojími 250 MW

R3 normální provoz bloku s jedním soustrojím 250 MW

R4 plánované odstavování bloku

R5 havarijní odstavování bloku působením RTS

R6 havarijní odstavování bloku působením RTS spojené se ztrátou napětí pracovních i rezervních zdrojů (úplná ztráta napájení vlastní spotřeby)

Řízení provozu alternátoru a elektrického bloku je provedeno prostředky SKŘ v blokové dozorně. Řídicí systém, regulace a automatiky alternátoru, turbíny a bloku zabezpečují:

- Automatický nebo manuální rozběh turbosoustrojí.
- Turbosoustrojí najíždí na otáčky dle najížděcího diagramu turbíny.
- Nabuzení alternátoru.

- Najíždění s automatickým buzením.

- Najíždění s ručním řízením buzením (při poruše automatiky obou kanálů regulátoru napětí).

• Fázování alternátoru do sítě 400 kV (ruční pomocí synchronizační soupravy nebo automatické pomocí automatického fázovače).

• Provoz alternátoru po přifázování do sítě:

- Podle požadavků dispečerského řízení.

- Dodržování provozního P-Q diagramu (na blokové dozorně je k dispozici dynamický P-Q diagram generovaný řídicím systémem buzení).

- Změna žádané hodnoty statorového napětí generátoru.

- Změny a řízení kmitočtu a činného výkonu alternátoru (Vlastní změny kmitočtu realizuje zařízení regulace turbíny).

• Ochranu bloku při poruchách (zkratech) v síti 400 kV.

• Ochranu bloku při změnách frekvence v síti.

• Ochranu bloku při změnách napětí v síti.

• Provozní odstavení TG.

• Havarijní odstavení TG.

• Znovupřifázování alternátoru po odpojení od soustavy.

Reaktorové bloky EDU i jednotlivá jejich turbosoustrojí jsou začleněny do systému dispečerského řízení elektrizační soustavy ČR.

Reaktorové bloky EDU jsou normálně provozovány v základní části zátěžového digramu dle denního plánu provozu. Dále mohou být bloky provozovány i v režimu dálkového ovládání výkonu (ve vztahu na SR) a/nebo podle dispečerských povelů. Činný výkon TG se řídí podle požadavků technického dispečinku ČEZ.

8.3.5 Systémy střídavého napájení

V následujících odstavcích je uveden popis řešení napájecích systémů III. kategorie napájení, III/II. a II. kategorie zajištěného napájení.

8.3.5.1 Schéma napájení vlastní spotřeby

Přehledové schéma napájení vlastní spotřeby je znázorněno na Obr. 99..

Schéma vlastní spotřeby je možno rozdělit do 3 základních částí:

• Schéma zajištěného napájení (ZN).

Schéma zajištěného napájení zahrnuje SZN 1,2,3, které jsou klasifikovány jako BS a SZN4, SZN5 klasifikované jako SSB a AAC-síť. Uvedený SZN 1,2,3 je z pohledu bezpečnosti nejdůležitější částí schématu.

• Schéma nezajištěného napájení (NZN) III. kategorie blokové vlastní spotřeby.

Hlavní součástí jsou 4 blokové rozvodny 6 kV nBA, nBB, nBC, nBD, které slouží k napájení spotřebičů sekundárního okruhu, některých spotřebičů primárního okruhu (HCČ) a úsekových rozváděčů NN III. kategorie. Rozvod 6 kV zajišťuje vazbu na pracovní a rezervní zdroje.

• Schéma nezajištěného napájení III. kategorie společné vlastní spotřeby.

Hlavní součástí jsou rozvodny 6 kV 9BA a 9 BB, odkud je napájena většina vnějších objektů (tj. objektů vně HVB). Některé objekty (provozní budova, centrální čerpací stanice, BAPP) jsou napájeny přímo z blokových rozvoden 6 kV.

8.3.5.2 Rozvod III. kategorie nezajištěného napájení

Systém NZN pro každý reaktorový blok se skládá:

- ze čtyř blokových rozvoden (nBA, nBB, nBC, nBD) o napětí 6 kV, 50 Hz. Tyto rozvodny napájí:

  - spotřebiče III. kat. o elektrickém příkonu nad 170 kW,
  - vývody k transformátorům 6/0,4 kV (resp. 6/0,175 kV),
  - sekční spojky pro napájení systémů ZN II,
  - úsekové rozvodny nCA, nCB, nCC, nCD, nCH, nCE, nCF.

- z úsekových rozvoden (nCA, nCB, nCC, nCD, nCH) o napětí 0,4kV, 50 Hz. Tyto rozvodny napájí:

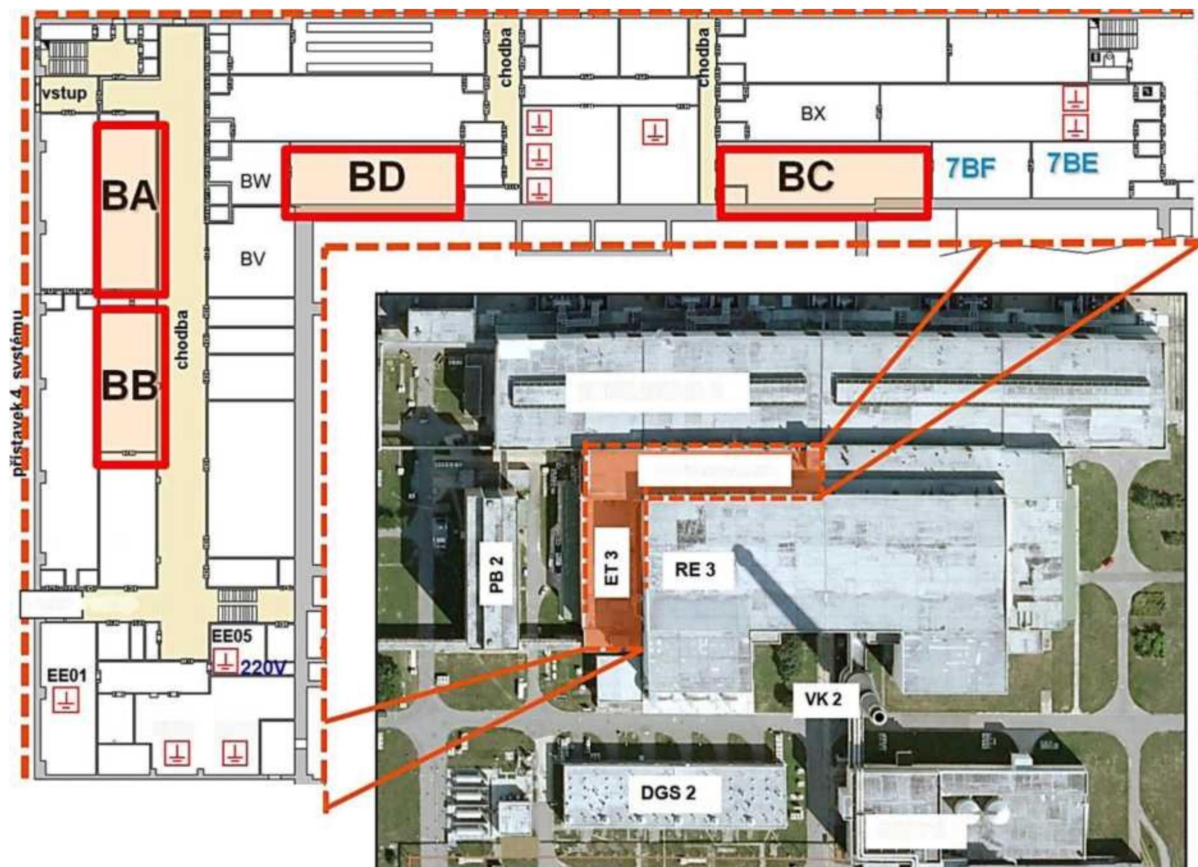
  - spotřebiče III. kat. výkonu 50 - 200 kW,
  - vývody k podružným rozváděčům.

- z úsekových rozvoden (nCE, nCF) o napětí 0,175 kV, 50 Hz, pro silové napájení systému RRCS – systém řízení kazet HRK (původně SOR).

8.3.5.2.1 Blokové rozvodny 6 kV NZN (BVS)

Zátěž vlastní spotřeby reaktorového bloku je rozdělena mezi 4 blokové rozvodny 6 kV (nBA, nBB, nBC, nBD) III. kategorie napájení. Z těchto rozvoden jsou napájeny spotřebiče důležitosti D1, D2 a N.

Tyto rozvodny jsou normálně napájeny z pracovních zdrojů, kterými je dvojice řiditelných odbočkových transformátorů se štěpeným vinutím na straně 6 kV 1BT01(02) 15,75/6,3/6,3 kV o výkonu 32/16/16 MVA. Výhodou popsaného uspořádání je vyšší provozní spolehlivost napájení a nižší nároky na zkratovou odolnost zařízení rozvoden 6 kV. Rozvodny jsou umístěny na podlaží + 0,0 m v podélných a příčných etažérkách příslušného reaktorového bloku.



Obr. 108. Umístění rozvoden 6 kV NN třetího RB na 0,00 m

Rozvodny blokové vlastní spotřeby 6 kV NZN (BVS) podléhají vyhlášce SÚJB č. 132/2008 Sb. a jsou zahrnuty mezi vybraná zařízení BT 3. Bloková vlastní spotřeba 6kV NZN je vybavena režimovými automatikami:

Automatický záskok rezerv – AZR

Automatika podpěťového vypínání – APV

Automatika vypnutí vypínače 400kV – AVV

Centrální automatiky bloku - CAB

Rozvodny BVS mohou být provozovány v těchto režimech:

a) Režim NZN-1: napájení BVS z pracovního zdroje

Pracovními zdroji pro napájení blokových rozvoden 6 kV NN jsou odbočkové transformátory nBT01(02) napájené z turbogenerátoru nebo ze sítě 400 kV.

b) Režim NZN-2: napájení BVS z rezervního zdroje

Rezervním zdrojem napájení jsou přípojnice nBL a nBM napájené z rozvoden rezervního napájení 0(7)BE a 0(7)BF. Zdrojem pro napájení těchto rozvoden jsou vedení 110 kV přivedené z rozvodny Slavětice a vedení 110 kV z rozvodny Oslavany.

c) Režim NZN-3: rozvodny BVS bez napájení

Při současné ztrátě pracovního i rezervního zdroje napájení (úplná ztráta napájení ÚZN) zůstávají rozvodny 6 kV NN bez napájení.

Hlavní prvky blokových rozvoden 6 kV NZN

Rozvodny blokové vlastní spotřeby 6 kV NN jsou sestaveny ze skříní vn rozvaděčů. Pracovní napájení rozvoden je provedeno. Rezervní přívody jsou realizovány zapouzdřenými podpěrkovými vodiči ZV6.



Obr. 109. Bloková rozvodna 6kV NZN (BVS)

8.3.5.2.2 Rozvodny 6 kV rezervního napájení

Rozvodny rezervního napájení jsou na 1. HVB označeny 0BE, 0BF a na 2.HVB jsou pojmenovány 7BE, 7BF.

Pracovním zdrojem pro napájení RNVS jsou transformátory rezervního napájení 0(7)AU01, 0(7)AU02. Schéma napájení je na Obr. 101..

8.3.5.2.3 Společná vlastní spotřeba

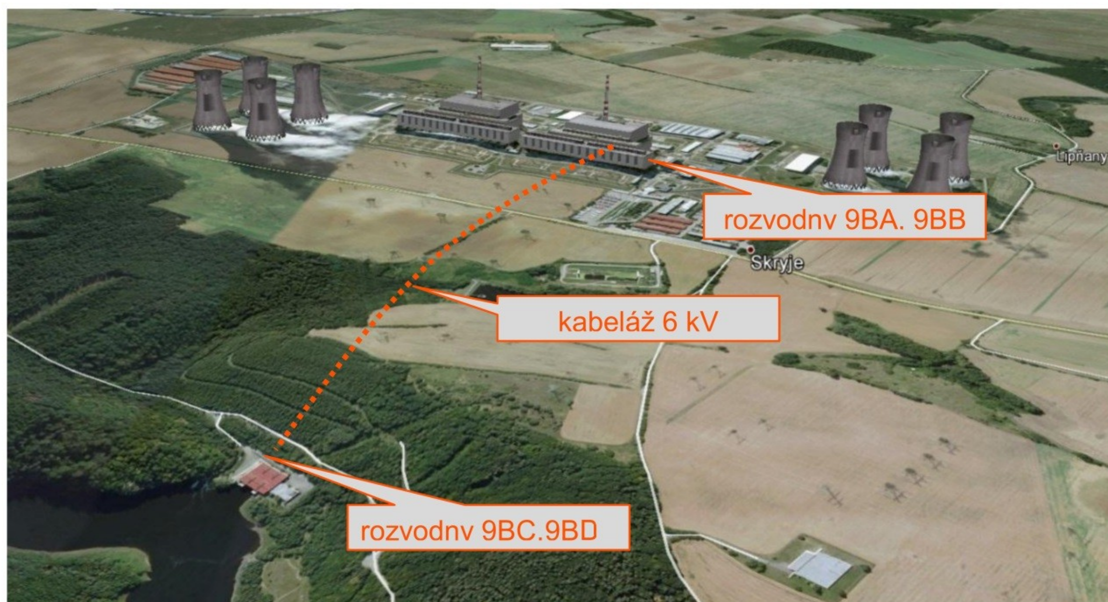
Společná spotřeba všech čtyř reaktorových bloků EDU je situována ve vnějších objektech umístěných uvnitř i vně areálu EDU. Tato společná vlastní spotřeba je napájena:

- z rozvoden 9BA a 9BB (administrativní budova, pomocná kotelna, dílny a sklady, ...),
- z rozvoden 9BA, 9BB a blokové rozvodny 2BC resp. 1BC (kompresorová stanice a stanice chladu),
- pouze z blokových rozvoden 1. a 2. RB (BAPP, CHÚV,...).

Rozvodny 6 kV společné spotřeby 9BA a 9BB jsou normálně napájeny izolovanými stíněnými vodiči z pracovního zdroje, kterým je řiditelný odbočkový transformátor se štěpeným vinutím na straně 6 kV 9BT01 v odbočce TG 1SP10.

Na rozvodny společné vlastní spotřeby jsou připojeny:

- pohony 6 kV ve vnějších objektech,
- transformátory 6 kV/nn,
- podružné rozvodny 6 kV 9BC, 9BD umístěné v čerpací stanici na Jihlavě.



Obr. 110. Situační umístění rozvoden společné vlastní spotřeby 6KV

8.3.5.2.4 Rozvod NN

Napájení menších spotřebičů III. kategorie je zajištěno z rozvoden nízkého napětí 0,4kV. Úsekové rozvodny nn jsou umístěny na podlaží + 0,0 m v podélných a příčných etažérkách příslušného reaktorového bloku.

Spotřebiče příkonu 50 – 200 kW jsou napájeny přímo z úsekových rozvoden, pro nejmenší spotřebiče jsou odtud napájeny vývody k podružným rozvaděčům, umístěným blíže k místu spotřeby.

Úsekové rozvaděče blokové vlastní spotřeby 0,4 kV (nCA01, nCA02, nCB01, nCB02, nCC, nCD, nCH01, nCH02, nCR, nCS) jsou napájeny přes vzduchové transformátory 6/0,4 kV z rozvoden 6 kV nezajištěného napájení (nBA, nBB, nBC, nBD) BVS._



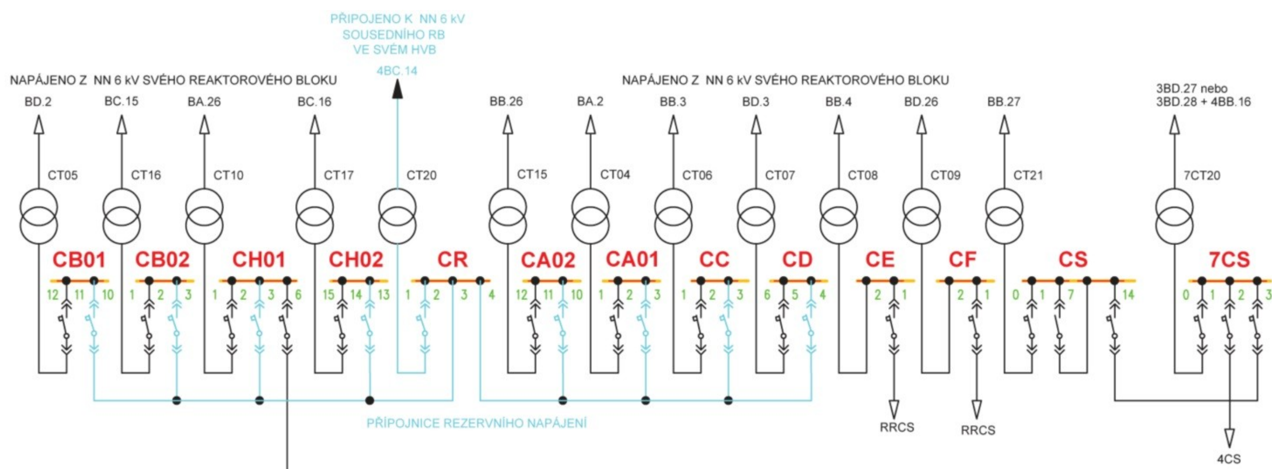


Obr. 111. Vlevo- strana vn, vpravo- strana nn transformátoru 3CT09 napájeného z 3BD.26

Úsekové rozvaděče (nCA01, nCA02, nCB01, nCB02, nCC, nCD, nCH01, nCH02) mají kromě pracovního napájení z příslušných rozvoden 6 kV, realizován i rezervní přívod z úsekového rozvaděče nCR. Rezervní přívod je napájen ze sousedního reaktorového bloku.

Za nominálního provozu jsou tyto rozvodny napájeny ze svých pracovních přívodů. V případě jejich výpadku, převedou automatiky AZR, při splnění určitých podmínek,

napájení na rezervní přívod z rozvaděče CR. Na Obr. 112. je tento rezervní přívod označen modře.



Obr. 112. Schéma úsekových rozvoden 0,4 kV nezajištěného napájení

Rozvodny CE, CF a CS, 7CS nemají výše uvedené rezervní napájení z rozvodny CR, zálohování napájení jejich spotřebičů je vyřešeno jinými principy:

Rozvodny CE, CF

Jmenovité napětí rozvoden je 175V, (takže ani nemohou mít rezervní napájení z CR) slouží jako pracovní napájení pohonů HRK. Pro překlenutí krátkodobého výpadku NN, max. 20 s, jsou pohony napájeny z nouzového zdroje – akumulátorovny EE05 (220V DC/600 Ah) připojené na rozvodnu EJ. Motory pohonů přecházejí do tzv. blokovacího režimu a HRK udržují v dané poloze. Pro případ nutnosti odstavení reaktoru se přerušuje toto napájení a pohony sjedou dolů vlastní vahou.

Rozvodny CS, 7CS

Úsekový a podružné rozvaděče osvětlení jsou důležité pro napájení světelných a zásuvkových rozvodů na bloku a to i za odstávek bloku, kdy jsou zajišťovány rozvodny 6kV NN. Světelný rozvaděč CS má proto možnost přemanipulace napájení ze dvou různých přívodů 6 kV z rozvoden nezajištěného napájení.

8.3.5.3 Rozvod III/II. kategorie zajištěného napájení mimo síť AAC

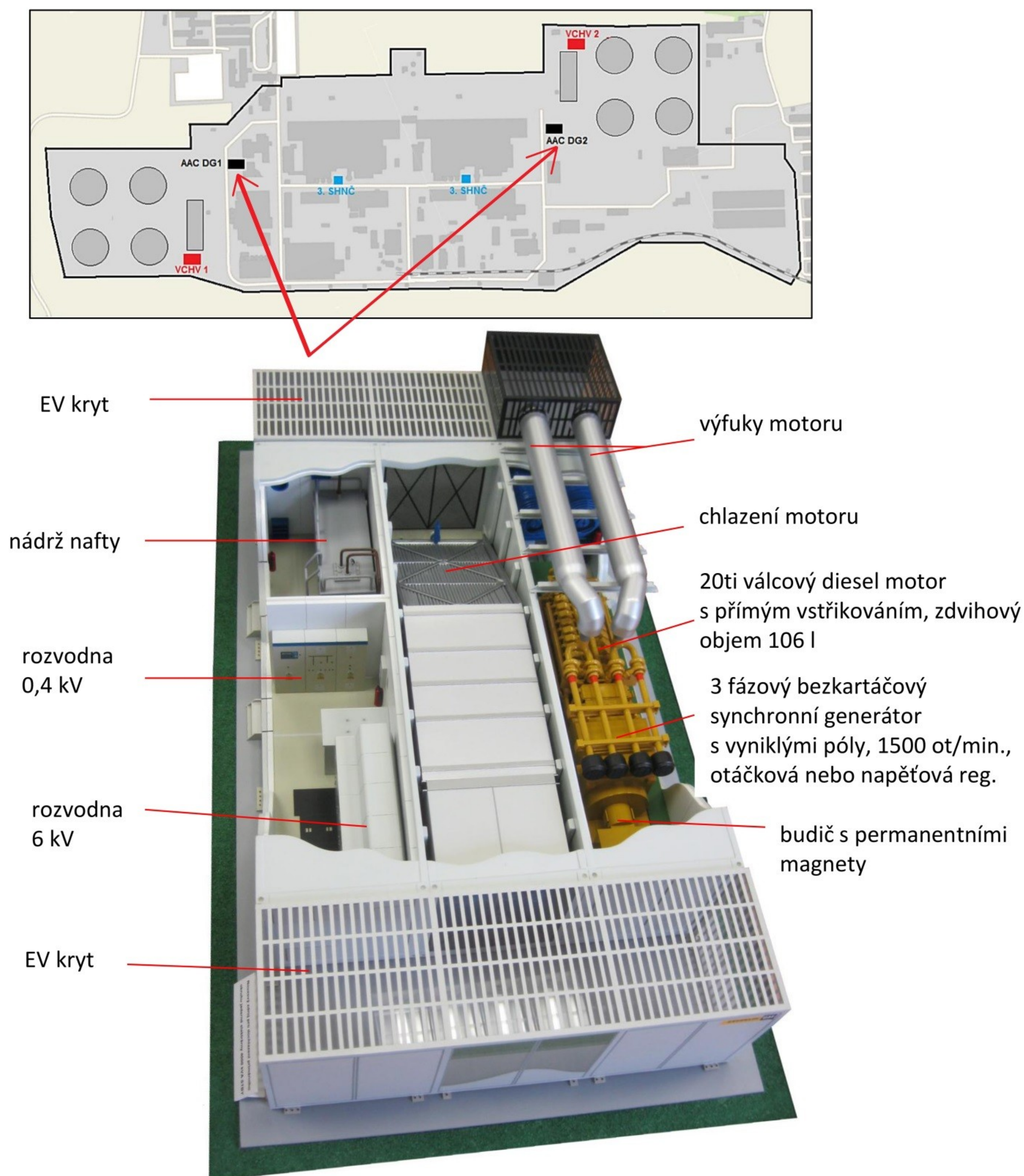
Rozvod III/II. kategorie zajištěného napájení je vytvořen na 4. SZN a slouží pouze pro napájení agregátů nepřerušeného napájení (ANN). SZN4 je tvořen dvěma v zásadě rovnocennými subsystémy (SZN4.1 a SZN4.2). Nouzové zdroje a hlavní rozváděče SZN4.1 a SZN4.2 jsou dispozičně odděleny a mají schopnost vzájemného zálohování spínatelnými kabelovými propojkami.

8.3.5.4 Rozvod III/II. kategorie zajištěného napájení - síť AAC

Koncepce sítě AAC je založena na doplnění 2 nových vzdálených dieselgenerátorů (AAC-DG), rozvoden 6kV, rozváděčů 0,38kV, transformátorů 6/0,4kV a kabelových propojení. Veškerá zařízení v síti AAC jsou klasifikována jako BT3 a mají seismickou odolnost 1a.

8.3.5.4.1 Rozvod 6kV

AAC síť je vzhledem k délkám kabelových tras navržena v napěťové hladině 6kV AC. Vlastní AAC síť v úrovni 6kV tvoří rozvodny 0(7)BZ01, 0(7)BZ02, 0(7)BZ03, 0(7)BZ04 transformátory 6/0,4kV 0(7)CT91,nCT31 a kabelová propojení. Veškeré vývody na rozvodnách 6kV jsou vyzbrojeny vypínači.



Obr. 113. Situační umístění AAC-DG a jeho model

8.3.5.4.2 Rozvod NN

Vlastní AAC síť v úrovni 0,38kV tvoří rozváděče nCP02, 0(7)CZ90, 0(7)DZ90 a kabelová propojení. Rozváděče NN AAC sítě jsou v normálním režimu provozovány pod napětím.

8.3.5.5 Rozvod II. kategorie zajištěného napájení

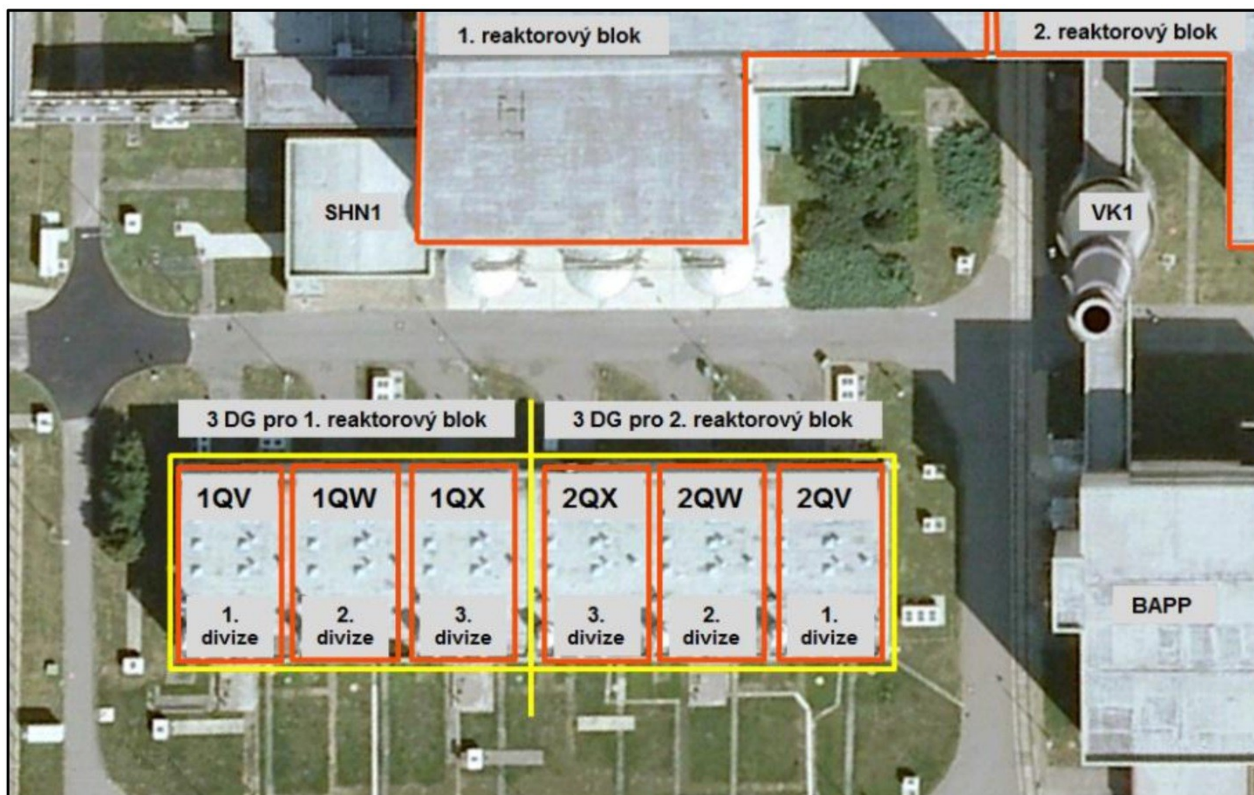
Rozvod II. kategorie zajištěného napájení slouží pro napájení spotřebičů důležitosti D12,BS. Dále jsou z něho prostřednictvím usměrňovačů a bypassu střídačů napájeny sítě I. kategorie zajištěného napájení. V normálním i abnormálním provozu i havarijních podmínkách, při kterých je k dispozici napětí na příslušné blokové rozvodně 6 kV III. kategorie napájení, je rozvodna 6 kV II. kategorie nBV (nBW, nBX) napájena ze sítě III. kategorie - rozvodny nBB (nBD, nBC) pomocí kabelové propojky. Při ztrátě napájení R 6 kV II. kategorie nebo úplné ztrátě napájení VS III. kategorie je další provoz řízen režimovými automatikami bloku a ZN II. kategorie. Schéma rozvodu je na Obr. 117..

8.3.5.5.1 Nouzové zdroje rozvodu II. kategorie

Nouzovými napájecími zdroji pro SZN 1,2,3 jsou dieselgenerátory (DG). Na 1. a 2. bloku jsou DG jugoslávské výroby, na 3. a 4. bloku jsou DG polské. Jsou dimenzovány tak, že každý DG zabezpečuje el. napájení spotřebičů příslušného SZN ve všech projektem uvažovaných režimech. Funkce DG je nezávislá na pracovním i rezervní napájení VS. Zařízení v DGS jsou zařazena do BT2 a BT3 podle vyhlášky 132/2008 Sb. Nový řídicí systém DG a veškerá zařízení zaměněná v rámci výše uvedené rekonstrukce DGS mají osvědčení o způsobilosti pro použití na JE dle norem IEC a splňují požadavky na seismickou odolnost v lokalitě EDU.

Dieselgenerátorová stanice

Dieselgenerátorová stanice je umístěna v samostatném SO 530/1-01 společném pro 1. a 2. blok JE. SO 530/1-01 je tvořen nosnou ocelovou konstrukcí, jejíž obvodová část je vyplněna siporexovým zdivem. Uvnitř je budova rozdělena do šesti samostatných kobek DGS 1 - 6, navzájem oddělených zděnou protipožární příčkou. V těchto kobkách se nacházejí vlastní strojovny DG, dozorna, pomocná technologie, rozvodny 6 kV a 0,4 kV, kompaundační transformátory, strojovny vzduchotechniky, místnosti nádrží a místnost tlumiče výfuku. Požární separace a dispoziční nezávislost DG zaručují, že porucha (havárie) jednoho DG agregátu neovlivňuje chod a spolehlivost ostatních.

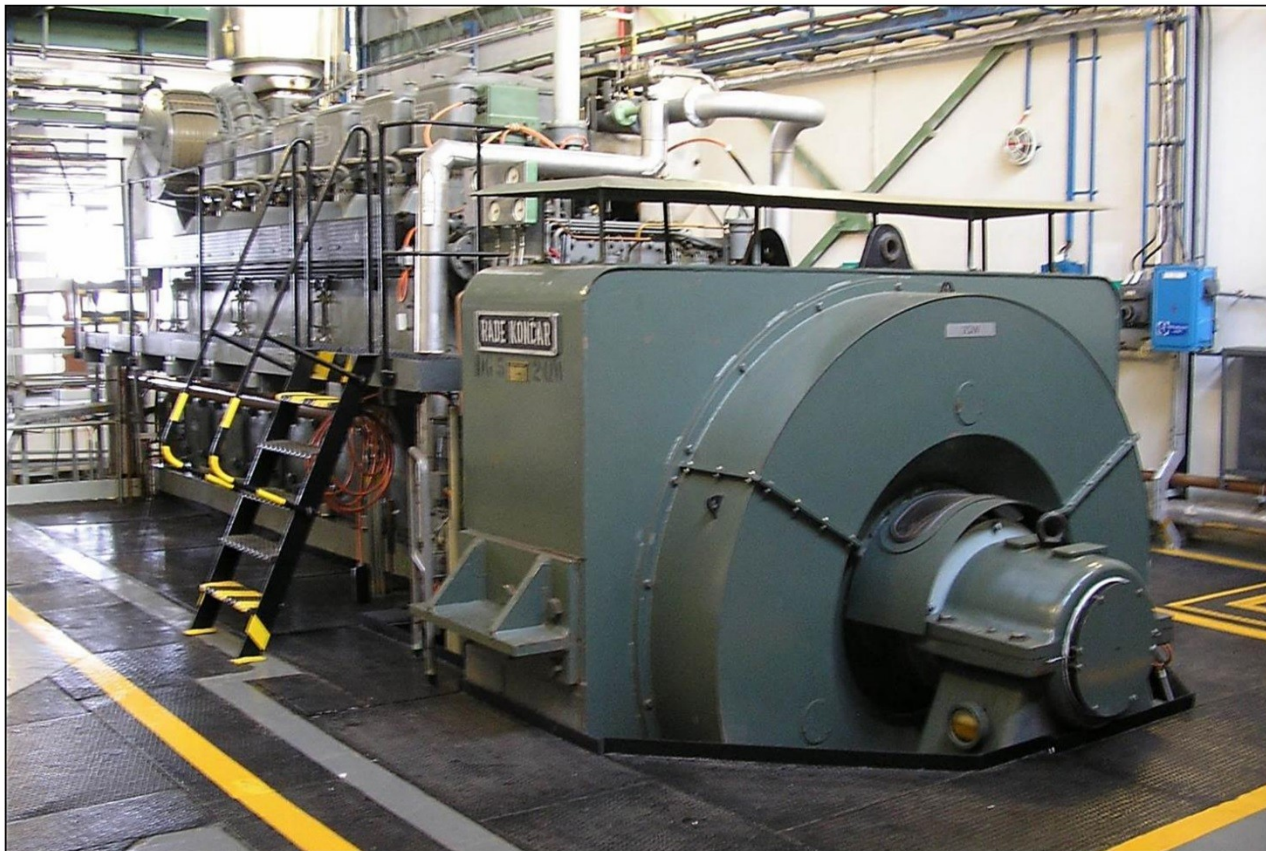


Obr. 114. Přiřazení jednotlivých dieselgenerátorů k bezpečnostním systémům na HVB1.

Parametry dieselgenerátoru

Dieselmotor ZL40/48, který pohání generátor na 1. (a 2. bloku), je řadový šestiválec s přeplňováním vzduchem o přetlaku 0,05 - 0,22 MPa. Jeho jmenovitý výkon je 3000 kW, maximální výkon 3300 kW, jmenovité otáčky 500 ot/min. Chladicí systém motoru je vodní, dvouokruhový. Provozní čerpadla paliva, vody a oleje mají z důvodu nezávislosti na vnějších zdrojích pohon přímo od klikového hřídele motoru.

Generátor je synchronní třífázový se závislým buzením, s proudovou kompaudací. Chlazení generátoru je řešeno samoventilací okolním vzduchem.



Obr. 115. Dieselgenerátor na HVB 1

Provozní režimy DG

Řídicí systém umožňuje práci jednotlivých DG a jejich pomocných systémů v následujících režimech.

Režim „Horká rezerva“

DG je připraven k okamžitému startu do režimu „Normální práce“. Veškeré zařízení DGS je udržováno na předepsaných parametrech pro start.

Režim “Normální práce“

DG startuje od požadavku na start z bloku (z automatiky ELS, BD, ND) nebo od tlačítka „Místní start“. DG pracuje se zatížením podle požadavků spotřebičů napájených z příslušného SZN. Postupné zatěžování spotřebiči je řízeno automatikou ELS.

Režim “Práce v testu“

Tento režim slouží ke zkouškám a kontrolám funkcí DG, napájeného SZN.

Režim “Práce do sítě elektrizační soustavy“

DG startuje od požadavku obsluhy RB, je přifázován k sítí VS a pracuje s volitelným zatížením do venkovní sítě (elektrizační soustavy). Režim slouží k periodickým zkouškám DG plným zatížením a kontrolám funkcí DGS.

Hlavní automatiky, blokády a ochrany DG

Každý z nouzových DG má svoji vlastní automatiku ADG, nezávislou na ADG ostatních DG. Automatika ADG, která z pohledu funkce SZN1,2,3 řídí provoz nouzových DG, je realizována v řídicím systému jednotlivých DG v dieselgenerátorové stanici. Hlavní funkcí automatiky ADG je udržování DG v horké rezervě a na povel důležitých ochranných a řídicích systémů příslušného SZN zajištění jeho rychlého a spolehlivého nastartování a dosažení připravenosti k zatěžování. Ochranné funkce jsou rozvrženy do dvou nezávislých systémů F1 a F2 tak, aby důležité ochranné funkce v jednom systému byly zálohovány v systému druhém. DG je vybaven systémem strojních ochran. Působnost těchto ochran respektuje zásadu redukce působení ochran na vypnutí DG v režimu „Normální práce“. V tomto režimu vypíná a odstavuje DG ochrana od nadotáček a ztráty mazacího oleje. V režimech testů a práce DG do sítě působí na odstavení ještě další ochrany (teplota chladící vody, ložisek).

Kontroly funkce a zatěžování DG

Kontrola postupného zatěžování DG byla výpočtově provedena v projektu. Byly porovnány výkonové požadavky zátěží v různých projektem uvažovaných havarijních situacích. Výpočty ukázaly, že DG je schopen převzít zatížení podle programů ELS.

Funkce a zatěžovací schopnost DG včetně jejich režimových automatik a spolupráce se systémy SKŘ a technologií se pravidelně zkouší podle schválených programů, které jsou uvedeny v provozních předpisech a v harmonogramech zkoušek DG a ELS. Výsledky zkoušek jsou vyhodnocovány podle kriterií přijatelnosti, která jsou rovněž v těchto předpisech uvedena.

8.3.6 Systémy stejnosměrného napájení

Následující odstavce se zabývají popisem stejnosměrných napájecích systémů I. a III/I. kategorie zajištěného napájení a střídavých systémů I. a III/I. kategorie zajištěného napájení, které jsou ze stejnosměrných systémů napájeny pomocí střídačů.

8.3.6.1 Rozvod napájení I. kategorie SZN 1, 2, 3

Tento rozvod slouží především pro napájení důležitých spotřebičů plnících bezpečnostní funkce v rámci příslušné divize bezpečnostních systémů (skupina důležitosti D11,BS).

Na každém bloku EDU jsou vytvořeny 3 nezávislé divize bezpečnostních systémů.

Rozvod napájení I. kategorie každého ze SZN1,2,3 je tvořen vlastním nouzovým zdrojem (akubaterie 220 V DC), agregátem nepřerušeného napájení (usměrňovače a střídače), rozvodným zařízením a kabeláží. Schéma rozvodu je na Obr. 117..



Obr. 116. Akumulátorovna 2EE02 s doplněnou dvojicí bloků na 107 ks (původně 105 ks)

8.3.6.2 Rozvod napájení III/I. kategorie SZN 4

Systém zajištěného napájení SZN 4 je systém související s bezpečností (SSB). Slouží pro napájení prostředků SKŘ, které patří mezi SSB, pro napájení dalších spotřebičů SSB (D11, SSB) i pro napájení systémů nedůležitých z hlediska jaderné bezpečnosti, které však zajišťují obecnou bezpečnost osob a drahých zařízení (D11, SNB).

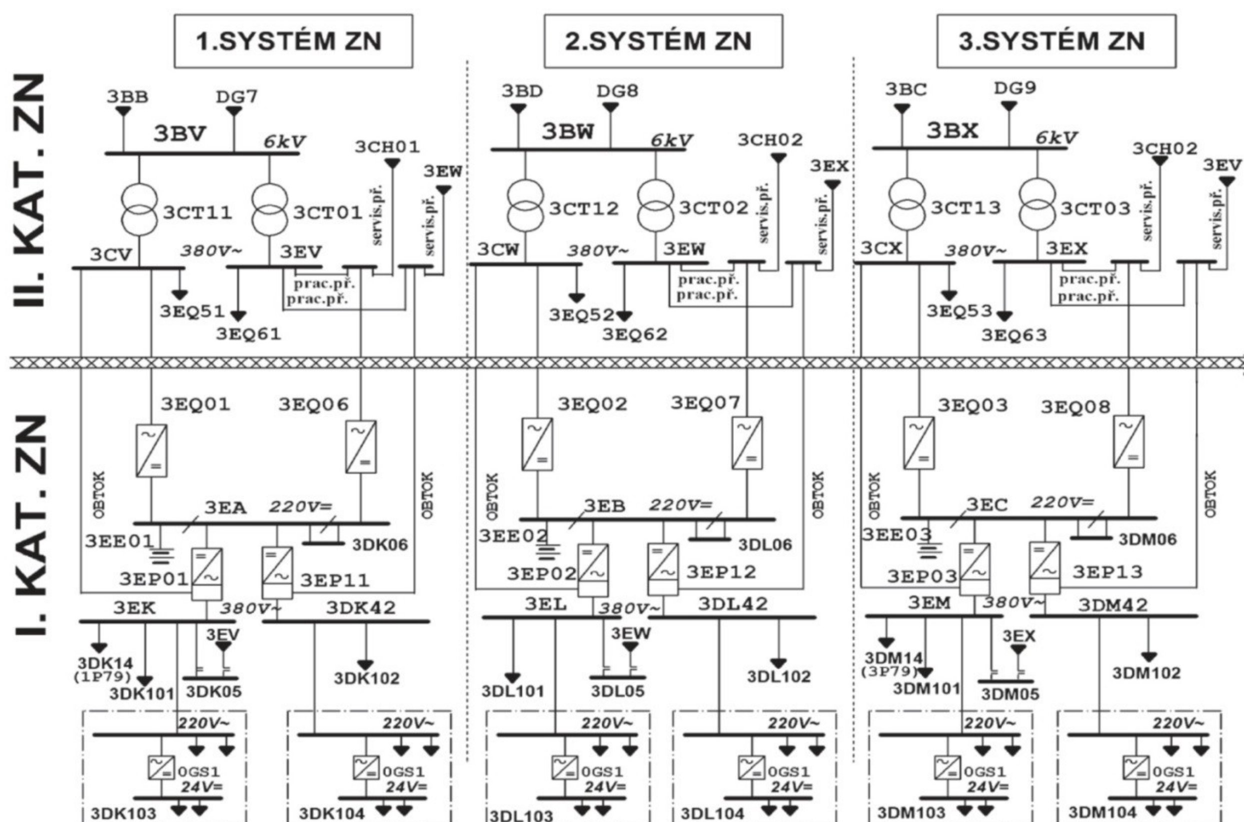
Tento SZN je tvořen dvěma v zásadě rovnocennými subsystémy (SZN4.1 a SZN4.2). Nouzové zdroje a hlavní rozváděče SZN4.1 a SZN4.2 jsou dispozičně odděleny a mají schopnost vzájemného zálohování spínatelnými kabelovými propojkami.

8.3.6.3 Rozvod napájení III/I. kategorie SZN 5

SZN 5 slouží pro překlenutí krátkodobých poklesů napětí v síti III. kategorie, odkud jsou pracovně napájeny pohony tyčí RRCS (D11, RRCS). Tím se odvrátí pád kazet HRK při přechodových procesech typu AZR nebo při působení el. ochran, kdy dochází k poklesu nebo krátkodobé ztrátě napětí.

8.3.7 Systémy zajištěného napájení 1, 2, 3

Systém zajištěného elektrického napájení vč. DGS je podpůrný aktivní bezpečnostní systém. Jsou tvořeny systémy ZN I. kat. i II. kat. popsanými výše a zajišťují napájení spotřebičů za všech režimů až do 3 a) úrovně ochrany do hloubky, tj. zajišťují zásahy (opatření) vedoucí k odvrácení rozvoje, nebo ke zvládání havarijních podmínek projektovými prostředky. Pro zabezpečení funkceschopnosti dané divize bezpečnostních systémů je nutná funkceschopnost zdrojů a sítí I. kategorie i II. kategorie příslušného SZN. Z rozvodu II. kategorie je napájen rozvod I. kategorie zajištěného napájení pomocí usměrňovačů. Proto je schéma II. kategorie současně řešeno i podle požadavků navazujícího rozvodu I. kategorie.



Obr. 117. Přehledové schéma tří bezpečnostních systémů ZN I. a II. kategorie

8.3.7.1 Provozní režimy

Za normálního a abnormálního provozu bloku jsou el. rozvody systému ZN II. kat., a jejich prostřednictvím i rozvody ZN I. kat., napájeny z rozvodů III. kat. (NZN) a zajišťují napájení všech spotřebičů připojených na rozvody ZN I. a II. kategorie. Nouzové zdroje ZN I. kat., tj. akubaterie jsou za provozu trvale udržovány v nabitém stavu a připraveny kdykoliv převzít zátěž spotřebičů připojených v síti I. kat. Obdobně jsou nouzové zdroje ZN II. kat., tj. DG udržovány ve stavu pohotovosti (horká rezerva) a jsou trvale připraveny kdykoliv převzít zátěž spotřebičů připojených v síti II. kat při ztrátě napětí AC ve vlastní spotřebě elektrárny. Na zdrojích ZN I. kat. i ZN II. kat. se provádí pravidelné kontroly dle LaP.

Reálnou zkouškou akumulátorových baterií, v návaznosti na opatření po havárii na JE Fukushima, byla prokázána schopnost akubaterií SZN I. kat. zajistit dobu napájení SZN I. kat. po dobu výrazně delší než ÚP požadovanými 2 hod, a to po dobu 7 hod plnohodnotně a více než 12 hod v omezeném rozsahu.

8.3.7.2 Bezpečnostní klasifikace

Systém ZN I. a II. kat. patří mezi podpůrné výkonné bezpečnostní systémy, které zajišťují nezbytnou podporu pro povoz bezpečnostních systémů. Podílí se na plnění všech tří základních bezpečnostních funkcí (Řízení reaktivity, Odvod tepla z AZ, Zabránění úniku radioaktivních látek).

Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 je systém ZN I. a II. kat. a systém DG zařazený do BT2.

V souladu s metodikou výběru zařízení pro kvalifikaci je systém ZN I. a II. kat. a systém DG zařazen do seismické kategorie 1a. Pro systémy 1a se vyžaduje plná funkční způsobilost včetně zachování integrity v průběhu a po skončení havarijní události (zemětřesení).

8.3.7.3 Ochrana proti interním hazardům

a) vnitřní záplavy a tryskající médium

V samostatných místnostech, kabelových kanálech a prostorech s instalovaným zařízením ZN I. a II. kat., kromě DGS, se za projektových podmínek nevyskytují zdroje záplav. V objektech DGS se vyskytují zdroje záplav z chladicího systému, který je napojen na TVD.

Únik média z technologických systémů ve stanici DG pro iniciační událost druhu vnitřní záplavy nepředstavuje problém z hlediska bezpečnosti, protože při jediné poruše může být vyřazen z provozu resp. ze stavu pohotovosti pouze jeden bezpečnostní systém. Další provoz bloku v takovém případě bude veden v souladu s ”Limity a podmínkami”. Událost nemá vliv na bezpečnost JE.

b) vnitřní letící předměty, padající břemena, švihy potrubí

V samostatných místnostech, kabelových kanálech a prostorech s instalovaným zařízením ZN I. a II. kat., kromě DGS, se nevyskytuje technologie, která by mohla generovat vnitřní letící předměty, padající břemena nebo švihy potrubí. Letící předměty z technologických systémů ve stanici DG nepředstavují problém z hlediska bezpečnosti, protože při jediné poruše může být vyřazen z provozu, resp. ze stavu pohotovosti pouze jeden bezpečnostní systém.

c) vnitřní požár

V systému ZN I. a II. kat není možné technicky vyloučit vznik požáru, např. při technické poruše některého ze zařízení ZN I. a II. kat. nebo jiného zařízení v místnosti ZN I. a II. kat. instalovaného, avšak stejně jako u záplav nepředstavuje požár na jednom ZN I. a II. kat problém z hlediska bezpečnosti, protože při jediné poruše může být vyřazen z provozu, resp. ze stavu pohotovosti pouze jeden bezpečnostní systém.

8.3.7.4 Ochrana proti jednoduché poruše

Bezpečnostní systémy včetně systému ZN I. a II. kat a systému DG musí být řešeny tak, aby pro jakoukoliv událost uvažovanou v projektu byla splněna kritéria přijatelnosti i v případě vzniku libovolné dodatečné nezávislé jednoduché poruchy (SFC - Single Failure Criterion).

Kritérium jednoduché poruchy v rámci jedné divize ZN I. kat se uplatňuje především v řešení usměrňovačů a střídačů a částečně i úsekového rozvaděče (dále jen ÚR). Na každém SZN I. kat. je osazena dvojice usměrňovačů a dvojice střídačů, z nichž každý je schopen nahradit svým provozem ztrátu funkčnosti druhého z dvojice. Každý z dvojice usměrňovačů SZN je připojen do jiné poloviny ÚR a oba jsou schopny napájet ÚR i jeho části nezávisle jak na sobě, tak i při paralelní spolupráci usměrňovačů.

Kritérium jednoduché poruchy v rámci jedné divize ZN II se uplatňuje především v řešení zapojení sekčních vypínačů. Vypínače jsou zapojeny v sérii a ovládané z různých řídících obvodů. Ke splnění bezpečnostní funkce - vypnutí a tím oddělení sekce ZN II od sekce nezajištěného napájení - postačuje zapůsobení jednoho sekčního vypínače.

8.3.7.5 Ochrana proti poruše ze společné příčiny

Systém ZN I. a II kat. včetně systémových DG kritérium odolnosti proti poruše ze společné příčiny (CCF - Common Cause Failures) nesplňuje. Všechny tři systémy jsou téměř identické. Tento přístup nechrání systém před poruchou ze společné příčiny a tato ochrana je nahrazena organizačními opatřeními, kdy se po vzniku poruchy na některé komponentě, provede na ostatních systémech/divizích kontrola stavu a funkčnosti stejné komponenty. V případě dlouhodobé neprovozuschopnosti některé divize BS je další provoz bloku zakázán.

Po událostech ve Fukushimě jsou navíc instalovány další dva nezávislé zdroje tzv. AAC DG se zvýšenou odolností proti působení extrémních vlivů. Tyto AAC DG jsou schopny zajistit napájení nejdůležitějších částí SZN a prostřednictvím nově instalované AAC sítě s novými spínacími prvky a kabeláží propojitelnou s kterýmkoliv ZN II. kat. AAC DG jsou na rozdíl od systémových DG plně autonomní, nezávislé na chlazení ze systému

TVD. Navíc jsou na EDU doplněny 4 nové mobilní DG, každý o výkonu 440 kVA v stand by režimu, s možností napájet vybrané spotřebiče důležité pro dochlazení bloku nezávisle na pevných rozvodech a zdrojích VS zajišťujících projektové napájení ÚR ZN I. kat EDU. Napájení těchto ÚR, a tím i spotřebičů ZN I. kat, lze zajistit kterýmkoliv z těchto 4 mobilních DG.

8.3.8 Elektrické ochrany rozvodu vlastní spotřeby

Systém ochran v rozvodu vlastní spotřeby je navržen podle požadavků vyplývajících z ustanovení příslušných ČSN tak, aby byly splněny následující nejdůležitější požadavky:

1) Chránění zařízení VS proti účinkům poruch (zkraty, nadproudy, přepětí apod.).
2) Dostatečná citlivost ochrany k minimálním poruchovým (zkratovým) proudům.
3) Dostatečný odstup ochrany od maximálních provozních proudů.
4) Selektivita ochran.
5) Dostatečná vypínací schopnost jistících prvků nebo spínacích prvků, na které působí nepřímé ochrany.
6) Vzájemné zálohování ochran.

Na SZN 1,2,3 se preferuje zajištění jaderné bezpečnosti před ochranou vlastních zařízení. Proto jsou u nejdůležitějších motorů havarijních systémů přetížení pouze signalizována. Obdobně je při ostrém startu nouzových DG na SZN 1,2,3 působnost ochran redukována pouze na závažné poruchy, které znamenají vyřazení DG z funkce (zejména zkraty). Ostatní ochrany pouze signalizují.

8.3.9 Řízení elektrického schématu

Prostředky pro řízení elektrického schématu jsou soustředěny v dozornách. Umožňují prostřednictvím akčních členů ovládat el. schéma a jeho zdroje (např. vypínače, automatiky, start/stop DG, fázování alternátoru, změny napětí zdrojů,….), měřit důležité veličiny (napětí, proudy, výkony, frekvence,…), zobrazovat stavovou i poruchovou signalizaci. Řízení a vyhodnocování stavu zařízení se provádí podle provozních předpisů, které respektují provozní režimy a možnosti sledovaného zařízení.

Bloková dozorna

Bloková dozorna (BD) je umístěna v příčných etažerkách každého z bloků. Je určena pro řízení strojně jaderné technologie a el . schématu v normálních, abnormálních i havarijních stavech bloku. El. část je řízena prostřednictvím systému ASŘTP. Signalizace stavů, signalizace poruch a měření elektrických veličin v rozsahu, jako je na blokové dozorně, je zavedena paralelně i do centrálního počítačového informačního systému bloku.

Nouzová dozorna

Nouzové dozorny (ND) jsou na každém z bloků umístěny v objektu příčné etažérky. ND je určena pro řízení omezeného rozsahu strojně jaderné technologie a elektrického schématu, který je potřeba v případě nemožnosti řízení z BD pro odstavení reaktoru a udržení bloku v bezpečném stavu. Normálně je bez obsluhy.

Ústřední elektrická dozorna

Slouží pro řízení oblasti elektrického schématu. Hlavním účelem ED je řízení systému RNVS tak, aby pro potřeby jednotlivých bloků bylo zajištěno napětí na magistrále rezervního napájení, a dále řízení napájení vnějších objektů EDU.

Ovládání z místních štítů a rozváděčů

Akční členy elektro je možno ovládat i z místních štítů (jsou umístěny zejména v dieselgenerátorových stanicích, kde slouží pro ovládání DG při některých zkouškách) nebo přímo z místa (z rozváděčů). Na rozváděčích je k dispozici i stavová signalizace, měření elektrických veličin a poruchová signalizace.

8.3.10 Systém uzemnění, ochrana před bleskem

Systém uzemnění a hromosvodů jaderné elektrárny Dukovany je řešen v souladu s příslušnými normami a předpisy. Zajišťuje ochranu před úrazem elektrickým proudem, ochranu před bleskem a předpětím a zabezpečuje správnou činnost elektrických zařízení.

Je tvořen dílčími obvodovými uzemněními objektů, na která jsou připojena vnitřní uzemnění objektů, speciální uzemnění a svody hromosvodů. Jednotlivá obvodová uzemnění propojená s hlavní uzemňovací sítí tvoří celkovou uzemňovací síť elektrárny.

Všechny budovy a objekty EDU jsou chráněny před bleskem a před ostatními škodlivými účinky atmosférické elektřiny. Na jednotlivých objektech jsou nainstalována jímací zařízení v takovém provedení a uspořádání, aby v max. míře byly zachyceny atmosférické výboje směřující na chráněný objekt.

8.3.11 Kabeláž elektrických systémů

Kabelové hospodářství jaderné elektrárny Dukovany představuje rozsáhlý soubor kabelových propojení jak mezi jednotlivými objekty, tak i uvnitř těchto objektů.

Z těchto důvodů je problematice kabelového hospodářství věnována mimořádná pozornost a jsou přijata veškerá dostupná (technicky opodstatněná) opatření zaměřená zejména na protipožární prevenci, zamezení šíření požáru, umožnění jeho rychlé likvidace a minimalizace následků, a současně na splnění požadavků technologické části z hlediska zabezpečení požadovaných funkcí v různých projektem uvažovaných stavech. Pro dosažení tohoto záměru je v souladu s koncepcí technologie i při řešení kabeláže aplikován princip tří navzájem oddělených, nezávislých divizí bezpečnostních systémů. Požadavkům na zachování funkční schopnosti vymezeného rozsahu kabelů v podmínkách požáru je podřízen, výběr vhodných druhů a typů kabelů, trasování a ukládání kabelů na nosné kabelové konstrukce, utěsňování prostupů kabelů stěnami, stropy atd.

Pro kabelová vedení vn byly při výstavbě použity kabely s hliníkovým jádrem a plastovou izolací jader i ochranného pláště typu AYKCY 6 kV.

Pro kabely nn (silové i ovládací) byly opět použity celoplastové kabely s měděným jádrem (CYKY), s hliníkovým jádrem (AYKY, AYY), případně kabely s olověným pláštěm KPOSG a speciální silové i ovládací kabely JYTY, BYFY, NCYY, KVVGE.

Od roku 1992 jsou z důvodu zajišťování vyšší požární bezpečnosti nové kabely pro vybraná zařízení dle vyhlášky 132/2008 Sb. pokládány v provedení se zvýšenou odolností proti šíření plamene a s funkční schopností při požáru dle ČSN IEC 60331, např. CHKE-V, případně se zvýšenou odolností proti šíření plamene dle ČSN IEC 332-3, jako např. CHKE-R.

Do hermetické zóny reaktorovny kabely vstupují přes hermetické kabelové průchodky.

Nově instalované hermetické kabelové průchodky musí plnit funkci protipožární těsnění prostupu ve smyslu ČSN 73 0810, musí být navrženy a realizovány v souladu s ČSN 73 0804; a musejí splňovat podmínky požární odolnosti klasifikace EI 90 podle ČSN

EN 13501-2, požadavků podle ČSN EN 1366-3.





Obr. 118. Kabelové průchodky 6 kV

8.3.12 Hodnocení systémů z hlediska dalšího provozu

Elektrické systémy a zařízení jsou podobně jako ostatní zařízení a systémy elektrárny zařazeny do programu sledování životnosti. Na zařízeních je prováděna pravidelná plánovaná údržba, podle schválených plánů. Na základě vyhodnocení výsledků údržby dochází k inovacím zařízení. Důvody mohou být různé, fyzická nebo morální zastaralost, nadměrná poruchovost, nedostatek náhradních dílů, atp.

Veškerá zařízení elektrických systémů jsou z uvedených důvodů rozdělena do celkem 48 skupin. Skupiny se liší specifickými vlastnostmi zařízení, která sdružují (např. transformátory, rozvodny, atd.). Pro každou skupinu je pravidelně zpracovávána Zpráva o stavu systému, tzv. Health Report. Jejím obsahem je zejména sledování bezpečnosti provozu, poruch, vyhodnocení fyzického stavu, hodnocení stárnutí, ekonomika provozu a evidence a plánování technických změn.

9 Pomocné systémy

9.1 Zacházení s palivem a jeho skladování

9.1.1 Skladování čerstvého jaderného paliva

9.1.1.1 Účel systému

Systém skladování čerstvého jaderného paliva je určen pro příjem, kontrolu a skladování čerstvého jaderného paliva, absorpčních částí řídicích tyčí, dále tzv. imitátorů palivových souborů a pro přípravu k zavezení čerstvého paliva do reaktoru. Sklad čerstvého jaderného paliva se nachází v centrální části reaktorového sálu v místnosti A 407 a je určen pro dva reaktorové bloky elektrárny nacházející se v budově hlavního výrobního bloku (HVB). Jeho hlavním účelem je bezpečné skladování čerstvého jaderného paliva v podkritickém stavu a udržování skladovacích podmínek doporučené výrobcem paliva zajišťující neporušení paliva.

9.1.1.2 Koncepce projektového řešení

Čerstvé jaderné palivo je z výrobního závodu přepraveno dodavatelem paliva přímo do jaderné elektrárny Dukovany. Čerstvé jaderné palivo se přepravuje v obalových souborech buď na železničním vagónu, nebo na nákladním automobilu do vlečkového koridoru HVB. Po uvolnění z transportního prostředku je obalový soubor upnut speciálním závěsem na jeřáb, který je umístěný ve skladu čerstvého paliva a přepraven na určenou skladovací pozici.

Ve skladu čerstvého jaderného paliva je obalový soubor (OS) umístěn na tzv. překlápěcí zařízení. Zde je otočen do vertikální polohy a jsou demontována víka jednotlivých trub OS. Jednotlivě jsou palivové soubory vyjímány jeřábem a je na nich prováděna vstupní kontrola. Poté jsou palivové soubory (PS) umístěny buď do skladovací mříže, nebo do zásobníku pro výměnu paliva anebo zpět do přepravních OS.

Veškeré manipulační a transportní operace jsou ve skladu prováděny pomocí mostového jeřábu s nosností 3,2 t s použitím speciálních závěsů, jejichž konstrukční řešení zabraňuje vysmeknutí či pádu břemene.

Manipulace s absorpčními částmi řídících palivových souborů se provádí stejným způsobem.

Palivo připravené pro výměnu paliva se skladuje na tzv. otočném stole, kde lze umístit maximálně 6 ks zásobníků po 30 ks PS (tj. celkem 180 ks PS). Po nastavení zásobníku pod otvor spojující sklad čerstvého paliva s reaktorovým sálem je odstraněna deska tohoto otvoru a zásobník je možno přepravit jeřábem 250t na reaktorový sál do šachty transportního kontejneru, který se nachází vedle bazénu skladování vyhořeného paliva.

Sklad čerstvého jaderného paliva zajišťuje následující funkce:

- příjem přepravních obalových souborů s čerstvým palivem,
- vyjímání palivových souborů z přepravních obalových souborů, vizuální kontrolu palivových souborů a jejich uložení do zásobníku skladu,
- vytvoření zásoby čerstvého paliva pro provozní výměny paliva obou reaktorů příslušného HVB,
- skladování paliva v suchých podmínkách a omezení vlivu vnějších záplav zvýšením podlahy skladu oproti okolním místnostem o 0,25 m,
- ochranu skladovaného paliva před mechanickým poškozením a znečištěním prachem,
- udržení spolehlivé podkritičnosti paliva ve všech skladovacích a manipulačních režimech i při nejnepříznivějších podmínkách ovlivňující reaktivitu.

Celková skladovací kapacita je 540 pozic pro čerstvé jaderné palivo (ČJP). Skládá se z:

- 240 pozic v obalových souborech,
- 120 pozic ve skladovacích mřížích,
- 180 pozic v zásobnících pro ČJP.

Podkritičnost paliva je zajištěna stálým geometrickým uspořádáním skladovaných palivových souborů. Toto geometrické uspořádání je zabezpečeno dostatečně tuhou vnitřní vestavbou zásobníků.

9.1.1.3 Provozní režim pro skladování čerstvého jaderného paliva

Systém skladování ČJP nemá vazbu na provoz nebo odstavení bloku. Funkce jeho jednotlivých technologických zařízení není propojena z hlediska ovládání ani kontroly na systém řízení provozu bloku.

9.1.1.4 Bezpečnostní požadavky na systém skladování čerstvého paliva

Tento systém nepatří mezi bezpečnostní systémy ani mezi systémy související s bezpečností. Základním kritériem bezpečnosti pro tento systém je spolehlivé zachování podkritičnosti skladovaného čerstvého paliva za všech stavů včetně podmínek optimální moderace. Při splnění tohoto kritéria nepředstavují další možné události (seismická událost, požár, pád těžkého předmětu) ohrožení jaderné a radiační bezpečnosti.

Analýzy podkritičnosti byly provedeny pro následující projektové uzly:

- mříž pro čerstvé palivové soubory ve skladu čerstvého paliva;
- zásobník pro transport čerstvých palivových souborů do šachty transportního kontejneru.

Výpočty byly provedeny pro stavy, kdy by došlo v důsledku libovolné události zaplavení výše uvedených projektových uzlů čistou vodou bez bóru a pro podmínky optimální moderace (zaplavení čistou vodou proměnné hustoty).

Z vypočtených hodnot vyplývá, že jsou s rezervou splněna kritéria na podkritičnost definována §46 písmeno a) vyhl. SÚJB 195/99 Sb. o požadavcích na jaderné zařízení. Konkrétně se jedná o splnění požadavku: prostorovým rozmístěním nebo jinými fyzikálními prostředky a postupy zabránit s rezervou dosažení kritičnosti i z a podmínek nejúčinnějšího zpomalování neutronů (optimální moderace), a tím zabránit:

- převýšení hodnoty 0,95 efektivního koeficientu násobení neutronů při předpokládaných havarijních situacích (včetně zaplavení vodou),

- převýšení hodnoty 0,98 efektivního koeficientu násobení neutronů v podmínkách optimální moderace

Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. o systému jakosti není žádné ze zařízení pro příjem a skladování ČJP zařazeno do vybraných zařízení dle bezpečnostních tříd.

9.1.1.5 Připravenost systému skladování čerstvého paliva na další provoz

Celkový stav tohoto systému je možné hodnotit jako vyhovující všem kritériím a limitům bezpečného provozu. Všechna zařízení provozního systému jsou v dobrém fyzickém stavu a spolehlivě zajišťují provozní i bezpečnostní funkce. Při dostatečném množství náhradních dílů jsou zařízení dlouhodobě provozuschopná.

9.1.2 Skladování vyhořelého jaderného paliva

9.1.2.1 Účel systému

Pro bezpečné skladování ozářeného jaderného paliva, resp. vyhořelého jaderného paliva vyváženého v době odstávky z reaktoru je určen bazén pro skladování vyhořelého paliva (BSVP). Bazén je umístěn v těsné návaznosti na šachtu reaktoru. Vyvážení paliva z reaktoru a jeho následné skladování v bazénu je prováděno pod vodou, která zajišťuje potřebné stínění a chlazení bazénu. V bazénu jsou palivové soubory skladovány po dobu nutnou ke snížení jejich zbytkového tepelného výkonu na hodnoty, kdy je možné tyto palivové soubory vyvážet do obalových souborů. Obalové soubory jsou pak převáženy a dlouhodobě uskladněny ve skladu vyhořelého jaderného paliva (SVJP), který je umístěn v areálu STP EDU1-4. Skladování vyhořelého jaderného paliva v SVJP není součástí této dokumentace a je pro něj zpracovaná samostatná bezpečnostní zpráva.

9.1.2.2 Koncepce projektového řešení systému skladování vyhořelého paliva

Palivové soubory vyvezené z reaktoru jsou v BSVP umístěny do ukládací mříže kompaktního provedení. Konstrukční a materiálové provedení mříže zabezpečuje podkritičnost skladovaného paliva. BSVP a šachta transportního kontejneru jsou umístěny v betonovém bloku vedle šachty reaktoru. Koncentrace kyseliny borité ve vodě je udržována na minimální hodnotě 12g/l vody. Vyhořelé jaderné palivo je pomocí zavážecího stroje ukládáno do základní kompaktní skladovací mříže. Při odstávce s úplným vyvezením paliva z aktivní zóny reaktoru je do BSVP dočasně umístěna tzv. rezervní skladovací mříž.

Teplota vody v bazénu skladování musí být ≤ 60 °C.

Palivové soubory, u kterých je při kontrole integrity pokrytí paliva zjištěna netěsnost se umisťují do hermetických pouzder. Hermetická pouzdra se skladují v kompaktní ukládací mříži v BSVP. V mříži je 17 pozic pro hermetická pouzdra. Doba skladování palivových souborů v BSVP je minimálně 6 let. Palivové soubory jsou následně přepraveny pomocí zavážecího stroje do obalových souborů typu CASTOR, který se umisťuje do šachty transportního kontejneru. Obalový soubor je uzavřen primárním víkem a vytažen na reaktorový sál, tam se na servisním místě odvodní, vysuší, vyvakuuje, naplní héliem a hermeticky uzavře dvěma těsnícími bariérami. Tyto bariéry jsou primární a sekundární víko. Po všech odbavovacích činnostech je obalový soubor převezen z reaktorového sálu na transportní prostředek ve vlečkovém koridoru HVB a dopraven do SVJP.

BSVP zajišťuje následující funkce:

- příjem vyhořelých palivových souborů, umožňuje skladování v základní kompaktní mříži celkem 699 vyhořelých palivových souborů, v rezervní mříži dalších 296 ks palivových souborů;
- odvod zbytkového tepla po dobu skladování;
- udržení podkritičnosti paliva ve všech skladovacích a manipulačních režimech i při nejnepříznivějších podmínkách ovlivňujících reaktivitu;
- provádění kontrol těsnosti pokrytí paliva systémem kontroly hermetičnosti pokrytí (KHP);
- v šachtě transportního kontejneru ukládání vyhořelých palivových souborů do OS.

Kompaktní mříž v BSVP obsahuje celkem 699 pozic pro palivové soubory (PS), z toho 17 pro hermetická pouzdra (HP). Rezervní mříž umožňuje uložení 296 ks PS a 54 ks HP.

Technologie pro skladovací obalové soubory Castor 440/84, resp. OS Castor 440/84M zajišťuje tyto funkce:

- OS obsahuje 84 pozic pro palivové soubory,
- udržení podkritičnosti paliva ve všech skladovacích a transportních režimech,
- stínění vyhořelého jaderného paliva (VJP) po dobu skladování,
- hermetické oddělení VJP od životního prostředí po dobu skladování,
- odvod tepla z VJP dle projektových podmínek.

9.1.2.3 Provozní režimy systému skladování vyhořelého paliva

Systém skladování vyhořelého paliva patří mezi systémy související s bezpečností, ale nemá vazbu na provoz nebo odstavování bloku. Funkce jeho jednotlivých technologických zařízení není propojena z hlediska ovládání ani kontroly na systém řízení provozu bloku.

9.1.2.4 Bezpečnostní požadavky na systém skladování vyhořelého paliva

Účelem systému je zajistit skladování vyhořelých palivových souborů, které je doprovázeno značným vývinem zbytkového tepelného výkonu v palivových souborech po jejich vyjmutí z reaktoru. Dalším kritériem je zajištění podkritičnosti pro VJP za všech stavů, včetně podmínek optimální moderace. Palivové soubory, u nichž se detekuje poškozené pokrytí, jsou skladována v hermetických pouzdrech. Systém skladování vyhořelého paliva zajišťuje jadernou i radiační bezpečnost provozu.

Bezpečnostní třída

Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. o systému jakosti jsou zařazena do vybraných zařízení dle bezpečnostní třídy tato zařízení pro manipulaci a skladování vyhořelého jaderného paliva:

- kompaktní a rezervní skladovací mříž (BT3),
- hermetické pouzdro (BT3),
- obalový soubor typu CASTOR 440/84 a CASTOR 440/84M (BT2).

Podkritičnost

Podkritičnost byla vyhodnocena pro skladovací i rezervní mříž v BSVP. Analýzami bylo prokázáno, že požadavky SÚJB na podkritičnost stanovené vyhláškou SÚJB č. 195/1999 Sb. jsou ve skladovacích mřížích splněny, tzn. že $k_{ef} \leq 0{,}95$ (zaplavaní čistou vodou) a $k_{ef} \leq 0{,}98$ (optimální moderace, hustota vody je 0,2 g/cm^3 (parovodní směs)).

Seismicita

Pro systém skladování vyhořelého paliva včetně jeho chlazení se požaduje seismická kvalifikace a vlastní systém skladování je zařazen do seismické třídy 1b s požadavkame na zachování mechanické pevnosti a hermetičnosti. Pro systém se požaduje odolnost vůči seismicitě do úrovně SL 2, což odpovídá maximálnímu povrchovému zrychlení na úrovni terénu 0,1 g. Závěr z provedených výpočtů je takový, že systém vyhovuje požadavkům na bezpečnost s dostatečnou rezervou.

Ochrana personálu

Bezpečí obsluhujícího personálu před radioaktivním zářením je zajištěno tím, že palivové soubory se skladují pod ochrannou vrstvou vody. Udržení stanovené vrstvy vody nad ozářeným palivem je zajištěno systémem doplňování skladovacího bazénu.

Působení vnějších sil

Ochrana paliva před mechanickým poškozením při manipulacích v prostoru šachty reaktoru, skladovacího bazénu a šachty kontejneru je zajištěna koncovými vypínači pohybu jednotlivých mechanismů zavážecího stroje. Zdvihací mechanismy používané pro manipulace s PS jsou vybaveny mikro rychlostmi, a závěsy s pojistkami proti vysmeknutí. Železniční vůz je řešen s daným povoleným zrychlením a zpožděním pohybu.

V případě výpadku elektrického napájení manipulačních a zdvihacích mechanismů v okamžiku práce s PS, zůstává pohyb zablokován a palivový soubor fixován v dané poloze.

Pád přepravního obalového souboru s vyhořelým palivem do BSVP je vyloučen kvůli dispozičnímu uspořádání a postupu manipulací při zavážení či vyvážení obalových souborů z/do šachty transportního kontejneru.

9.1.2.5 Hodnocení provozu systému vyhořelého paliva

Provoz systému skladování vyhořelého jaderného paliva je možno hodnotit jako bezpečný. Základním kritériem bezpečnosti pro systém je zachování podkritičnosti skladovaného VJP za všech stavů včetně podmínek optimální moderace. Splněním tohoto kritéria ve všech projektových stavech nepředstavují další možné události (seismická událost, požár, pád těžkého předmětu) ohrožení jaderné a radiační bezpečnosti. Manipulace s jaderným palivem vyžadují pečlivou činnost obsluhy a dodržování provozních předpisů.

Všechna zařízení systému jsou navržena a vyrobena tak, aby byla schopna provozu po dobu životnosti elektrárny. Samostatně není zbytková životnost tohoto systému hodnocena. Její čerpání u jednotlivých komponent se posuzuje podle prováděných technických kontrol a prohlídek.

9.1.2.6 Připravenost systému skladování vyhořelého paliva pro další provoz

Požadavky na manipulace s vyhořelým jaderným palivem a jeho skladování jsou dány zejména vyhláškou SÚJB č. 195/1999 Sb. o požadavcích na jaderné zařízení, kde je v § 47 definován seznam požadavků pro systémy manipulace s ozářeným a vyhořelým jaderným palivem a jeho skladování. Uvedené legislativní požadavky současný stav systému splňuje ve všech bodech. Provoz systému skladování VJP je spolehlivý, bezpečný a bez poruch, které by zásadně ovlivnily jeho provozuschopnost. Při dodržování všech relevantních provozních předpisů, provádění pravidelných prohlídek a technických kontrol, nejsou potřeba provádět žádné další změny podmiňující další bezpečný provoz systému skladování vyhořelého paliva.

9.1.3 Systém čištění a chlazení bazénu vyhořelého paliva

9.1.3.1 Účel systému

Primárním účelem tohoto systému je odvod zbytkového tepelného výkonu z vyhořelého nebo vyvezeného paliva z reaktoru skladovaného v místě jaderného zařízení, mimo systém chlazení reaktoru. Hlavní funkcí systému chlazení bazénu vyhořelého paliva je tedy zajištění dodávky roztoku kyseliny borité H_3BO_3 pro chlazení uloženého vyhořelého paliva tak, aby byla splněna kritéria zajišťující zachování integrity pokrytí paliva při všech projektem uvažovaných stavech.

Druhotným účelem tohoto systému je čištění chladiva. Systém čištění chladiva je společný pro 2 reaktorové bloky v rámci jednoho HVB.

9.1.3.2 Koncepce projektového řešení systému čištění a chlazení bazénu vyhořelého paliva

Systém chlazení

Ohřáté chladivo je odváděno sběrači z horní části BSVP a šachty transportního kontejneru do výměníku, kde předá část své tepelné energie technické vodě a vstupuje na sání čerpadel. Odtud je chladivo vedeno zpět přes rozváděcí kolektor do BSVP a šachty transportního kontejneru.

Systém chlazení BSVP je odolný vůči jednoduché poruše a zajišťuje plnění požadovaných bezpečnostních funkcí i během revizí, oprav a zkoušek. Dále je systém schopen přečerpat chladící médium na čistící stanici a po přečištění zpět do BSVP. Tyto požadavky jsou zajištěny provedením aktivního systému chlazení BSVP včetně jeho podpůrných systémů (elektronapájení, řízení, ventilace) s redundancí 2 x 100 %.

Dle provozního předpisu musí být teplota chladiva menší než 50 °C a koncentrace H_3BO_3 v chladivu BSVP musí být ≥ 12 g/kg.

Systém čištění

Systém čištění chladiva BSVP je společný pro 2 reaktorové bloky, podílí se na plnění níže uvedených funkcí ve všech projektových stavech:

- čištění chladiva pro BSVP, bazén výměny a šachty transportního kontejneru od mechanických a chemických nečistot v iontové formě;
- čištění roztoku H_3BO_3 barbotážních žlabů v barbotážní věži;
- čištění roztoku H_3BO_3 v systému nízkotlakého havarijního doplňování.

Tento systém se skládá ze dvou shodných paralelních filtračních okruhů. Každá filtrační linka se skládá ze tří za sebou zapojených ionexových filtrů:

- katexový filtr v H^+ formě – slouží zároveň jako mechanický filtr;
- katexový filtr v H^+ formě
- anexový filtr v boritanové formě

Za filtry je zařazen lapač ionexových částí, který je společný pro obě filtrační linky.

9.1.3.3 Provozní režimy systému čištění a chlazení bazénu vyhořelého paliva

Systém chlazení

Systém chlazení patří mezi systémy související s bezpečností. Systém nemá přímou vazbu na provoz nebo odstavování bloku. Chlazení BSVP a šachty transportního kontejneru se provádí nepřetržitě, pokud je v bazénu nebo šachtě alespoň jeden palivový soubor.

Systém čištění

Systém čištění patří mezi systémy související s bezpečností. Systém nemá přímou vazbu na provoz nebo odstavování bloku. Systém čistí cirkulující roztok H_3BO_3 tak dlouho, dokud složení roztoků H_3BO_3 v BSVP, barbotážních žlabech nebo nízkotlakých havarijních systémech nedosáhne požadovaného složení.

9.1.3.4 Bezpečnostní požadavky na systém čištění a chlazení bazénu vyhořelého paliva

Systém chlazení BSVP

Systém umožňuje plnění projektem požadovaných funkcí i při poruchách uvnitř respektive vně systému. Je to dáno 100% zálohováním chladicích okruhů.

Normální provoz:

Projektovaný výkon jedné linie chladicího systému pro odvod tepla z BSVP je 8,14 MW s udržením teploty v BSVP cca 50 °C. Za normálního provozu je maximální hodnota souhrnného zbytkového tepelného výkonu PS ve zcela zaplněném BSVP vypočtena na

5,5 MW. Z toho vyplývá, že k zabezpečení stálého chlazení zcela zaplněného BSVP postačuje jedna chladící linie systému chlazení.

Abnormální provoz a havarijní podmínky:

Nejnepříznivější stav nastane při ztrátě chlazení BSVP v průběhu skladování palivových souborů s nejvyšším zbytkovým tepelným výkonem. Vysoká tepelná kapacita BSVP umožňuje dlouhodobou ztrátu chlazení na dobu hodiny až desítky hodin bez rizika poškození pokrytí palivových proutků. Z provedených analýz plyne, že poškození pokrytí se uvažuje při dosažení teploty pokrytí 750 °C. Po výpadku chlazení BSVP je po dobu 24 – 32 hodin zajištěn odvod tepla z palivových souborů vlastní kapacitou chladiva v bazénu. Toto je dostatečně dlouhá doba pro přijetí opatření ke zprovoznění chladicího okruhu, popř. k použití nouzových nebo alternativních způsobů chlazení.

Ztráta chladiva z BSVP

Systém chlazení BSVP je chráněn projektovým řešením před možností zdrenážování chladiva na úroveň odhalení paliva skladovaného v rezervní mříži. Projektové řešení spočívá v zaústění zavzdušňovací trasy sifonů na potrubí chladících okruhů do prostoru BSVP na úroveň odpovídající horní hraně PS skladovaných v horní mříži. Drenáž BSVP pod tuto úroveň je možná pouze použitím zvláštního drenážního čerpadla.

Vůči pomalejším únikům je BSVP zabezpečen dvojitým kovovým hermetickým obkladem s kontrolou úniku a průběžnou kontrolou stavu hladiny a teploty chladiva v BSVP.

Bezpečnostní třída systému chlazení

Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. o systému jakosti jsou zařazena do vybraných zařízení dle bezpečnostní třídy tato zařízení:

- výměníky okruhu chlazení, sací trasy s armaturami, zapouzdřená čerpadla chlazení BSVP, výtlačné trasy čerpadel včetně armatur (BT3);
- tělesa rychločinných armatur (BT2).

Seismicita

Pro systém chlazení bazénu skladování vyhořelého paliva se požaduje seismická kvalifikace a vlastní systém chlazení je zařazen do seismické třídy 1a (aktivní části, zejména čerpadla a vybrané elektroarmatury armatury) resp. 1b (pasivní části, zejména potrubní trasy). Pro systém se požaduje odolnost vůči seismicitě do úrovně SL 2, což odpovídá maximálnímu povrchovému zrychlení na úrovni terénu 0,1 g. Závěr z provedených výpočtů je takový, že systém vyhovuje požadavkům na bezpečnost s dostatečnou rezervou.

Systém čištění BSVP

Účelem systému je zajistit radiochemickou kvalitu média systému chlazení BSVP a radiační bezpečnost provozu. Plnění těchto funkčních požadavků je dáno:

- projektem – dvě rovnocenné provozní linky;
- dostatečnou iontovýměnnou kapacitou náplní ionexových filtrů;
- schopností obnovení iontovýměnných vlastností náplní filtrů – regenerací ionexových náplní;
- schopností výměny filtračních náplní – tj. vyvážení již neregenerovatelných ionexových náplní a zavážení náplní nových.

Bezpečnostní třída systému čištění bazénové vody

Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. jsou zařazena do vybraných zařízení dle bezpečnostní třídy (BT3) ionexové filtry, lapač ionexů, vyvážecí trasy vysycených radioaktivních ionexů.

Seismicita

Pro systém není požadovaná funkčnost po seismické události. Systém proto nebyl zařazen do projektu seismické kvalifikace na úroveň povrchového zrychlení 0,1g a jeho seismická odolnost odpovídá původnímu projektu tj. 5 stupňů MSK-64.

9.1.3.5 Hodnocení systému čištění a chlazení bazénu vyhořelého paliva a jeho připravenost k dalšímu provozu

Systém chlazení BSVP

Systém chlazení BSVP splňuje funkce dané projektem a zajišťuje v součinnosti s ostatními systémy jadernou bezpečnost. Systém chlazení BSVP lze po provedených úpravách v minulých obdobích považovat za provozně spolehlivý. Při zachování stávajícího rozsahu plánované údržby a zajištění dostatečného množství náhradních dílů pro plánovanou údržbu lze systém chlazení bazénu nadále spolehlivě provozovat. Na základě provedeného hodnocení s ohledem na jadernou a provozní bezpečnost se systém pro další plnění svých projektových funkcí nachází ve velmi dobrém stavu.

Systém čištění BSVP

Systém splňuje funkce dané projektem a zajišťuje v součinnosti s ostatními systémy předepsanou radiochemickou kvalitu čištěných médií. Poruchy, které se vyskytly na zařízení během dosavadního provozu, neměly vliv na jadernou bezpečnost, jejich příčiny byly odstraněny a v současné době pracuje systém bez závad. Provoz systému čištění BSVP je spolehlivý, bezpečný a bez poruch, které by zásadně ovlivnily jeho provozuschopnost a nevyžaduje žádné další změny.

9.1.4 Systém manipulace s jaderným palivem

9.1.4.1 Účel systému

Systém výměny paliva zajišťuje pro jadernou elektrárnu veškeré technologické operace spojené s jaderným palivem od přivezení čerstvého paliva do hlavního výrobního bloku (HVB) až po odvoz ozářeného paliva ze skladovacího bazénu v HVB.

Manipulace s palivem jsou zásadně rozděleny na manipulace s palivem

- neozářeným, tj. čerstvým a
- ozářeným, tj. palivem které již bylo vystaveno neutronovému toku v aktivní zóně reaktoru.

Výměna paliva v reaktoru se provádí po kampaních, jednou ročně při čtyřletém resp. pětiletém palivovém cyklu. Ozářené palivo je dočasně skladováno v BSVP v HVB.

9.1.4.2 Koncepce projektového řešení systému manipulace s palivem

Ze skladu čerstvého paliva se čerstvé jaderné palivo (ČJP) dopravuje v transportních kontejnerech na HVB. V HVB se zásobník s ČJP dopraví pomocí mostového jeřábu do šachty transportního kontejneru. Z tohoto místa jsou pak čerstvé palivové soubory přenášeny zavážecím strojem do předem určených míst v aktivní zóně. Zavážení čerstvého paliva do aktivní zóny reaktoru je prováděno při zvýšené hladině chladiva.

Veškeré manipulace s ozářeným palivem jsou prováděny pouze při jeho dostatečném stínění a chlazení a za použití dálkově ovládaných mechanismů. Potřebné stínění a chlazení paliva je řešeno a zajištěno prováděním veškerých manipulací s palivem pod ochrannou vrstvou vody a napojením vodních objemů manipulačních a skladovacích prostor na chladicí systém.

Součástí výměny paliva je také kontrola těsnosti pokrytí paliva vyjímaného z reaktoru. Pro kontrolu těsnosti pokrytí paliva je elektrárna vybavena systémem sipping in-core a systém kontroly hermetičnosti pokrytí. Netěsné palivové soubory jsou přemístěny do hermetických pouzder.

Veškeré manipulace při výměně paliva jsou prováděny zavážecím strojem. Jeho hlavní činností jsou následující:

- vybrané ozářené palivové soubory vyváží z aktivní zóny do ukládací mříže skladovacího bazénu;

- palivové soubory s částečným vyhořením přemisťuje v aktivní zóně;
- na uvolněná místa v aktivní zóně zaváží čerstvé palivové soubory;
- manipuluje s komponentami aktivní zóny.

9.1.4.3 Provozní režimy systému manipulace s palivem

Systém manipulace s palivem patří mezi systémy související s bezpečností, avšak nemá vazbu na provoz nebo odstavování bloku. Funkce jeho jednotlivých technologických zařízení není propojena z hlediska ovládání ani kontroly na systém řízení provozu bloku.

9.1.4.4 Bezpečnostní požadavky na systém manipulace s palivem

Systém manipulace s jaderným palivem patří mezi systémy související s bezpečností. Systém nemá přímou vazbu na provoz nebo odstavování bloku. Základním kritériem bezpečnosti pro systém je zachování podkritičnosti jaderného paliva za všech stavů a podmínek při manipulacích. Při splnění tohoto kritéria nepředstavují další možné události (seismická událost, požár, pád těžkého předmětu) ohrožení jaderné a radiační bezpečnosti. Manipulace s jaderným palivem vyžadují pečlivou činnost obsluhy a dodržování provozních předpisů.

Bezpečnostní třída

Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. o systému jakosti je zařazen do bezpečnostní třídy (BT3) obalový soubor pro svědečné vzorky tlakové nádoby reaktoru.

Ochrana personálu

Bezpečí obsluhujícího personálu před radioaktivním zářením je zajištěno tím, že palivové soubory se skladují pod ochrannou vrstvou vody. Udržení stanovené vrstvy vody nad ozářeným palivem je zajištěno systémem doplňování skladovacího bazénu.

Působení vnějších sil

Ochrana paliva před mechanickým poškozením při manipulacích v prostoru šachty reaktoru, skladovacího bazénu a šachty kontejneru je zajištěna koncovými vypínači pohybu jednotlivých mechanismů zavážecího stroje. Zdvihací mechanismy používané pro manipulace s PS jsou vybaveny mikrorychlostmi , závěsy pojistkami proti vysmeknutí. Železniční vůz je řešen s daným povoleným zrychlením a zpožděním pohybu.

V případě výpadku elektrického napájení manipulačních a zdvihacích mechanismů v okamžiku práce s PS, zůstává pohyb zablokován a palivový soubor fixován v dané poloze.

Pád přepravního obalového souboru (OS) s vyhořelým palivem do BSVP je vyloučen kvůli dispozičnímu uspořádání a postupu manipulací při zavážení či vyvážení OS z/do šachty transportního kontejneru.

9.1.4.5 Hodnocení systému manipulace s jaderným palivem a jeho připravenost pro další provoz

Na systém se vztahují požadavky vyhl. SÚJB 195/1999 o požadavcích na jaderné zařízení stanovené § 46,47, které systém v rozsahu svého určení plní. Systém manipulace s palivem je možné na základě poznatků z dosavadního provozu hodnotit jako vyhovující všem kritériím a limitům bezpečného provozu. Systému splňuje požadavky na jakost, materiály i provedení; stejně jako účel, pro který byl projektován, vyroben a dodán s náležitou přesností a spolehlivostí.

Všechna zařízení systému jsou navržena a vyrobena tak, aby měla životnost celé elektrárny. Výjimku tvoří řídicí systém zavážecího stroje. Na zavážecím stroji prvního HVB byl původní řídicí systém nahrazen novým a na druhém zavážecím stroji na druhém HVB je životnost komponent řešena postupnou výměnou. Touto modernizací se prodlužuje životnost tohoto systému minimálně o dalších deset let.

Provoz systému manipulace s jaderným palivem je spolehlivý, bezpečný a bez poruch, které by zásadně ovlivnily jeho provozuschopnost a nevyžaduje žádné změny z hlediska dalšího provozu jaderné elektrárny Dukovany.

9.2 Vodní systémy

9.2.1 Systém technické vody elektrárny

9.2.1.1 Účel systému

Systém technické vody je určen pro odvod tepla ze zařízení bezpečnostních systémů a systémů souvisejících s jadernou bezpečností až do tzv. koncového jímače tepla.

Systém technické vody je dvoublokový, sestává ze tří samostatných, oddělených systémů technické vody důležité (TVD) a jednoho systému technické vody nedůležité (TVN).

Oběh chladicí vody v systému je zajištěn čerpáním v centrální čerpací stanici I a II.

Obě centrální čerpací stanice zahrnují čerpání cirkulační chladicí vody, technické důležité vody a technické nedůležité vody pro příslušný dvoublok.

9.2.1.2 Koncepce projektového řešení systému TVD

Systém TVD zajišťuje nepřetržitý a spolehlivý odvod tepla ze systémů důležitých pro bezpečnost reaktorových bloků v režimech normálního i abnormálního provozu a ve všech havarijních stavech. Systém TVD je podpůrný aktivní bezpečnostní systém.

Hlavní funkcí systému TVD je odvod zbytkového tepla z aktivní zóny reaktoru, akumulovaného tepla z primárního okruhu a zbytkového tepla z palivových kazet uložených v bazénu skladování vyhořeného paliva.

Každému bloku přísluší tři nezávislé systémy technické vody důležité.

Systém TVD je rozdělen do technologických systémů:

Systém VF1 – TVD na primárním okruhu.
Systém VF2 – TVD na sekundárním okruhu.
Systém VF3 – TVD na čerpací stanici a venkovních objektech.

Jednotlivá zařízení a komponenty systému TVD jsou umístěné v čerpacích stanicích, v potrubních kanálech výtlačných a vratných řadů, ve strojovně, v reaktorovně, v budovách dieselgenerátorů a vysokotlakých kompresorů. V reaktorovně je většina systémů chlazených TVD umístěna mimo hermetickou zónu. V hermetické zóně se nacházejí pouze chladiče ventilačních systémů.

Koncovým jímačem tepla pro systém TVD je v případě EDU atmosféra. Převedení tepelné energie z technické vody důležité do koncového jímače probíhá v chladicích věžích s přirozeným tahem nebo prostřednictvím ventilátorových chladicích věží.

Pro zajištění své bezpečnostní funkce systém TVD potřebuje další řídicí systémy a systém elektrického napájení. Systém TVD je řízen bezpečnostními systémy ESFAS a ELS.

Napájení elektrospotřebičů systému TVD je realizováno ze systému zajištěného napájení II. kategorie. Systém zajištěného napájení II. kategorie pro silové napájení pohonů patří mezi podpůrné bezpečnostní systémy a jsou na ně uplatněny stejné požadavky jako na bezpečnostní systémy.

Čerpací stanice technických vod pro každý dvoublok je umístěna v objektu centrální čerpací stanice. Každé čerpadlo technické vody je zabudováno v samostatné sací jímce. Elektromotor je umístěn v samostatné kobce, odolné 90 min. proti požáru. Sací jímky jsou v rámci jednoho podsystému vzájemně propojeny kanálem. Každou sací jímku čerpadla technické vody je možné oddělit od tohoto kanálu uzavřením šoupátka DN 1400 nebo zasunutím hradící tabule. Propojovací kanály jednotlivých podsystémů

technických vod jsou přes klapkový uzávěr DN 1000 připojeny k potrubí, které vzájemně propojuje jednotlivé systémy technických vod a zároveň vytváří propojení se sací jímkou čerpadel cirkulační chladicí vody.

Čerpadla systémů technické vody důležité jsou vertikální článková odstředivá s elektromotorem. Dopravované množství čerpadla TVD je 272 l/s, tlak ve výtlaku 0,56 MPa. Každý okruh (systém) technické vody důležité má čtyři čerpadla.

Elektrické napájení elektromotorů je přivedeno z rozvoden na příslušných blocích.

K nejdůležitějším spotřebičům na rozvodu TVD sprchovým výměníkům havarijního systému chlazení zóny (SAOZ) je technická voda přivedena ze strojovny potrubím DN 500 ke každému výměníku.

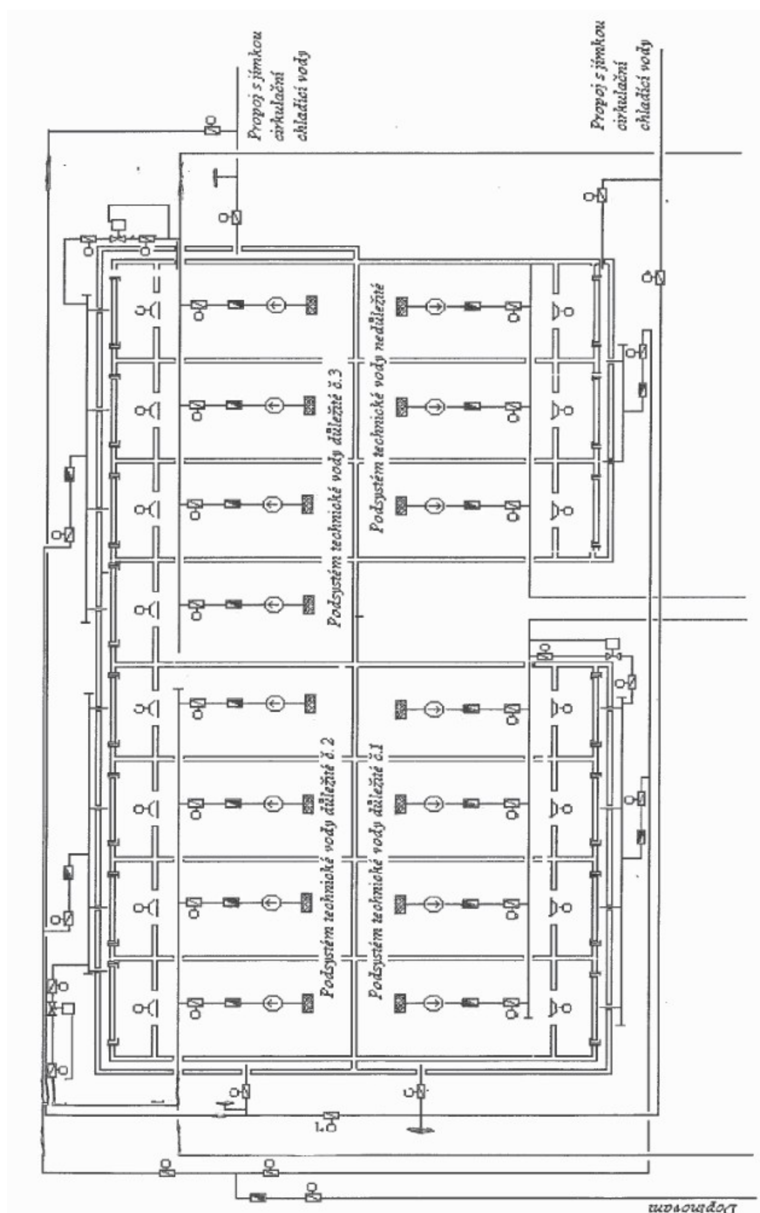
Systém TVD zajišťuje mimo hlavní výrobní bloky chlazení dieselgenerátorů a vysokotlaké kompresorové stanice.

Potrubí TVD pro DGS, pro VT kompresorovnu dusíku a potrubí pro VTKS vzduchu je vedeno v potrubních kanálech. Vratná trasa oteplené vody z kobek dieselgenerátoru je vedena do strojovny prvního popř. třetího bloku.

Vratná trasa oteplené vody z objektu vysokotlaké kompresorové stanice je přes potrubní kanály zavedena do jímky oteplené vody (z chlazení nízkotlakých kompresorů) v objektu nízkotlaké kompresorové stanice.

Doplňování systému technických vod je zajišťováno prostřednictvím potrubí doplňovací vody DN 1000 z objektu úpravny chladící vody.

Principiální schéma čerpací stanice technických vod je uvedeno na následujícím obrázku.



Obr. 119. Schéma čerpací stanice technických vod

Oteplená TVD je přivedena třemi samostatnými potrubními větvemi DN 1000 k armaturním jímkám u chladicích věží.

9.2.1.3 Provoz systému TVD

Systém technické vody důležité je tvořen třemi nezávislými systémy, které jsou dány třemi havarijními systémy chlazení zóny. Normálně pracují všechny tři systémy a spotřebiče jsou rozděleny tak, aby byly systémy zatíženy rovnoměrně. Systém pracuje za normálního a abnormálního provozu, kdy chladí spotřebiče související s bezpečností a v havarijních podmínkách, kdy prioritně chladí bezpečnostní systémy.

TVD patří mezi bezpečnostní systémy zařazené do 3 a) úrovně ochrany do hloubky (viz kap. 1.2.2.3). Systém však plní funkci na na úrovni 1 a 2 úrovně ochrany, kdy zajišťuje chlazení části systémů normálního provozu a systémů uplatňujících se v režimu abnormálních podmínek.

Provoz systému TVD se v jednotlivých režimech bloku liší v počtu připojených spotřebičů a pracujících čerpadel. Udržování teploty TVD se provádí doplňováním surové

vody při uzavřeném okruhu nebo v případě nárůstu teploty TVD jsou hlavním prostředkem odvodu tepla ze systému ventilátorové chladicí věže.

Během normálního popř. abnormálního provozu bloku, když nejsou v činnosti aktivní bezpečnostní systémy, zajišťuje TVD chlazení systémů souvisejících s bezpečností, které jsou potřebné při normálním provozu bloku. Jsou to např. systém doplňování a bórové regulace, olejové hospodářství, vložený okruh, systém spalování vodíku, bazén skladování vyhořelého paliva, vzduchotechnické systémy, atd. Při dochlazování bloku TVD zajišťuje chlazení technologických kondenzátorů a dochlazovacích čerpadel.

V případě ztráty elektrického napájení vlastní spotřeby z pracovních a rezervních zdrojů systém TVD zajišťuje chlazení DG, přičemž DG zajišťuje napájení elektromotorů čerpadel TVD.

Během havarijních podmínek typu LOCA (únik primárního média) systém TVD zajišťuje chlazení bezpečnostních systémů TJ - vysokotlaký havarijní systém, TH – nízkotlaký havarijní systém a TQ – sprchový systém a odvod tepla uváděného do atmosféry kontejnmentu přes výměník systému TQ.

Požadovaný dlouhodobý provoz je zajištěn doplňováním systému doplňovací vodou z úpravny chladicí vody. Jestliže doplňování není k dispozici, je v každé divizi TVD dostatečná zásoba vody pro provoz systému bez doplňování na dobu 72 hodin. Následný provoz TVD může být zajištěn dodávkou vody doplňované mobilními zařízeními ze zásob v areálu EDU.

Diverzní způsob odvodu tepla z I.O v případě nefunkčnosti systému TVD je možný prostřednictvím doplňování PG pomocí čerpadel superhavarijního napájení popř. mobilních zdrojů napájecí vody a odvod páry přes přepouštěcí stanice do atmosféry příp. pomocí pojišťovacích ventilů parogenerátorů. Alternativním způsobem lze zajistit odvod tepla z bazénu skladování vyhořelého paliva prostřednictvím doplňování chladiva do bazénu (aby nedošlo k odhalení palivových souborů) a odparem.

9.2.1.4 Bezpečnostní požadavky na systémTVD

Systém TVD je zařazen mezi aktivní podpůrné bezpečnostní systémy. Kromě zajišťování bezpečnostní funkce je provozován i při normálním provozu

Systém se účastní plnění bezpečnostních funkcí:

a) Předává teplo z bezpečnostních systémů až do koncového jímače tepla.
b) Zajišťuje podpůrnou funkci při provozu dalších bezpečnostních systémů.
c) Odvádí teplo ze skladovaného vyhořelého paliva až do koncového jímače tepla.

Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb je systém TVD je zařazen mezi vybraná zařízení v bezpečnostní třídě BT3.

Systém TVD je řízen bezpečnostními systémy ESFAS a ELS. Řídicí systémy ESFAS a ELS patří mezi ochranné systémy. Z hlediska vyhl. 132/2008 Sb. jsou zařazeny do BT2 a z hlediska ČSN EN 61226 jsou klasifikované do kategorie A.

Elektrické napájení zařízení systému TVD je z hlediska vyhl. 132/2008 Sb. zařazeno do BT2.

Systém TVD je seismicky kvalifikovaný a zařazen do seismické kaegorie 1a, systém musí být schopen činnosti v průběhu a po seismické události.

Zařízení systému jsou kvalifikována na parametry prostředí podle toho, kde jsou umístěna. Většina zařízení TVD je kvalifikována na normální podmínky, pouze chladiče ventilačních systémů umístěných v hermetické zóně (TL10,11 atd.) musí být kvalifikované na drsné podmínky vznikající v daných prostorech při události LOCA.

Odolnost vůči jednoduché poruše je dosahována tím, že je celý systém TVD obsahující nádrže, potrubí, armatury, čerpadla včetně jejich elektrického napájení řešen s redundancí 3 x 100% tj. třemi nezávislými divizemi systému. Tím je zajištěno splnění

požadovaných bezpečnostních funkcí i v případě plánované opravy v jedné divizi systému a při uvažování jednoduché poruchy v další divizi systému TVD. Systém TVD je schopen splnit všechny požadované bezpečnostní funkce i při činnosti pouze jednoho podsystému (divize).

Systém je dále řešen dvoublokově. V každé divizi jsou instalována dvě čerpadla na blok. Pro jeden hlavní výrobní blok (tvořený dvěma bloky) jsou tedy k dispozici čtyři čerpadla. V případě výpadku systému TVD na bloku můžou dvě čerpadla sousedního bloku plně pokrýt požadavky na chlazení TVD obou bloků.

Ochrana proti interním rizikům zahrnuje pro TVD:

a) vnitřní záplavy a tryskající médium,
b) vnitřní letící předměty, padající břemena, švihy potrubí,
c) vnitřní požár.

Ochrana proti vnitřním záplavám je řešena umístěním aktivních komponent systému TVD. Možná lokální záplava nemůže způsobit zaplavení těchto komponent. Elektromotory čerpadel TVD jsou umístěny v samostatných kobkách na podlaží ± 0 m centrální čerpací stanice. Zaplavení podlaží ± 0 m úniky média technologických systémů není vzhledem k umístění potrubí a sacích jímek na nižších podlažích reálné.

Pro případ malé záplavy jsou místnosti vybaveny drenážními vpusťmi. Pro případ velké záplavy v místnosti s aktivními bezpečnostními systémy, kterou není schopna pojmout drenáž, musí být dveře do těchto místností udržovány uzavřené, aby bylo zajištěno, že bude vyřazen pouze jeden redundantní bezpečnostní systém a porucha tak neohrozí bezpečnost JE.

Odolnost vůči letícím předmětům je řešena dispozičním uspořádáním zařízení. Žádný letící předmět nesmí ohrozit více než jednu divizi TVD. Proto je každé čerpadlo TVD zabudováno v samostatné sací jímce, elektromotor v samostatné kobce, potrubí jsou vedena v samostatných trasách.

Obdobně je řešena i ochrana systémů TVD proti pádu těžkých břemen.

Rovněž švih vysokoenergetických potrubí nesmí vyvolat poškození více než jedné divize systému TVD.

TVD jako systém dopravující vodní médium není obecně náchylný k ohrožení požárem. Jako základní materiál je použita uhlíková nebo nerez ocel. Pro TVD platí obecné základní požadavky na protipožární ochranu jako na ostatní strojní části bezpečnostních systémů.

Každé čerpadlo technické vody je zabudováno v samostatné sací jímce, elektromotor v samostatné kobce, odolné 90 min. proti požáru.

Ochrana proti externím rizikům.

Popis zatížení od extrémních klimatických podmínek (vítr, sníh, déšť, teploty) a posouzení rizik vyvolaných činností člověka (tlakové vlny, pád letadla) je v kapitole 3 této zprávy.

9.2.1.5 Zhodnocení provozu systému

Stav systému TVD je pravidelně hodnocen podle stanovených parametrů a kritérií. K hodnocení spolehlivosti systémů se využívají především parametry:

- Fyzický stav.
- Udržovatelnost a zajištěnost údržby.
- Bezpečnost.

Účelem tohoto hodnocení je shrnutí a vyhodnocení informací o provozu a stavu systému tak, aby bylo možné sledování spolehlivosti systému, identifikace odchylek od požadovaného stavu systému a včasné přijetí potřebných opatření.

Nejvýznamnější modifikací systému TVD bylo doplnění možnosti chlazení TVD přes ventilátorové chladící věže. Ostatní změny prováděné v průběhu provozu JE byly zaměřeny do oblasti náhrad potrubních tras, které již vykazovaly korozní úbytky nebo došlo k jejich zanesení s následným snížením průtoku. Dále proběhly záměny některých armatur za typy modernější konstrukce. U systému TVD umístěného v I.O je postupně prováděna výměna materiálu potrubí z uhlíkové za nerez ocel.

Oba stavební objekty centrálních čerpacích stanic byly zodolněny proti seismickým událostem a proti extrémním klimatickým vlivům.

Podle provozních předpisů jsou pravidelně v určených intervalech prováděny funkční zkoušky a provozní kontroly systému TVD a jeho komponent:

- Kontroly provozuschopnosti čerpadel systému technické vody důležité zahrnují kontrolu chodu čerpadla současně s kontrolou provozuschopnosti automatik zajištěného elektrického napájení II.kategorie (z DG).
- Kontroly technického stavu čerpadel systému TVD pomocí analýzy vibrací umožňují zjišťování poruch a závad většiny běžných strojních součástí v jejich počátečním stádiu.
- Kontrola chemické kvality technické vody.
- Kontrola korozních úbytků (metodou Corrater).

9.2.1.6 Hodnocení systému TVD a jeho připravenost pro další provoz

V systému TVD se nachází zařízení podléhající Programu řízeného stárnutí.

Identifikované dopady stárnutí jsou řízeny odpovídajícím způsobem pomocí stávajících i nově implementovaných programů řízeného stárnutí (např. vibrační diagnostika rotačních zařízení) a preventivní údržby.

Z výsledků tohoto programu vyplývá, že systém TVD plní svoji funkci, bezpečnostní funkce zařízení jsou zaručeny a nejsou známa omezení, která by bránila dalšímu provozu zařízení.

Zachováním stávající formy kontrol, údržby a modernizací zařízení lze systém technických vod udržet ve spolehlivém a bezpečném stavu pro další provoz jaderné elektrárny Dukovany.

9.2.1.7 Koncepce projektového řešení systému TVN

Podsystém technické vody nedůležité zajišťuje chlazení spotřebičů, které nevyžadují nepřetržitou dodávku chladícího média ve všech režimech. Dodávka TVN může být přerušena bez vlivu na jadernou bezpečnost.

Zajišťuje chlazení

Ve strojovně:

- chladičů těsnícího oleje TG,
- chladičů vzorků ze sběrné nádrže kondenzátu.

v reaktorovně:

- chlazení spotřebičů systémů - zpracování odpadních vod a systému regenerace H_3BO_3,
- dochlazovač odluhů,
- chladič vody barbotážního kondenzátu.

V systému TVN jsou instalována tři čerpadla konstrukčně obdobná jako čerpadla technické vody důležité. Dopravované množství 220 l/s, tlak ve výtlaku 0,52 MPa. V provozu je zpravidla jedno čerpadlo, dvě jsou v rezervě.

Výtlačné potrubí DN 500 podsystému technické vody nedůležité je zabetonováno ve společném betonovém bloku s potrubím cirkulační chladící vody a technické vody důležité.

Podsystém TVN v reaktorovně a v budově aktivních pomocných provozů je umístěn mimo hermetickou zónu v obslužných i neobslužných prostorech.

Rozvod TVN v primární části tvoří tři trasy. Dvě jsou napojeny přímo na rozvod podsystému technické vody nedůležité ve strojovně. Třetí napájí spotřebiče, které vyžadují vyšší tlak a proto je napojena na trasu výtlaku zvyšovacích čerpadel. Každá trasa se skládá z potrubí, uzavíracích a regulačních armatur a pojistných ventilů.

Koncovým jímačem tepla pro systém TVN je obdobně jako pro ostatní chladicí systémy atmosféra. Převedení tepelné energie z technické vody nedůležité do koncového jímače probíhá ve chladicích věžích.

Principiální schéma čerpací stanice technických vod viz kap. 9.2.1.2.

9.2.1.8 Bezpečnostní požadavky na systém TVN

Systém technické vody nedůležité je provozní systém, který nepatří mezi bezpečnostní systémy ani systémy související s bezpečností.

Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. systém TVN není zařazen mezi vybraná zařízení.

Protože činnost systému TVN není vyžadovaná v průběhu a po seismické událost, není tento sytém seismicky kvalifikovaný.

9.2.1.9 Zhodnocení provozu systému

Stav systému TVN je pravidelně hodnocen podle stanovených parametrů a kritérií. K hodnocení spolehlivosti systémů se využívají především parametry:

- Fyzický stav.
- Udržovatelnost a zajištěnost údržby.
- Bezpečnost.

Účelem tohoto hodnocení je shrnutí a vyhodnocení informací o provozu a stavu systému tak, aby bylo možné sledování spolehlivosti systému, identifikace odchylek od požadovaného stavu systému a včasné přijetí potřebných opatření.

Nejvýznamnější modifikace systému TVN prováděnými v průběhu provozu JE byly náhrady potrubních tras, které již vykazovaly korozní úbytky nebo došlo k jejich zanesení s následným snížením průtoku. Dále proběhly záměny některých armatur za typy modernější konstrukce. U systému TVN umístěného v I.O je postupně prováděna výměna materiálu porubí z uhlíkové za nerez ocel.

9.2.2 Systém chladicí vody

9.2.2.1 Účel systému

Systém cirkulační chladící vody zajišťuje odvod tepla z technologických zařízení sekundárního okruhu.

9.2.2.2 Koncepce projektového řešení systému chladicí vody

Pro každý dvoublok zajišťuji dodávku chladící vody čtyři vertikální diagonální čerpadla umístěná ve strojovně centrální čerpací stanice. Dopravované množství

čerpadla chladicí vody je 10,3 m^3/s, tlak ve výtlaku 0,25 MPa. Výkon každého čerpadla lze měnit natáčením lopatek oběžného kola.

Chladicí věž stavebně souvisí se systémem betonových gravitačních kanálů a čerpací stanice (CČS). Pro každý dvoublok je vybudován samostatný celek CČS a chladicích věží.

Nejvýznamnějším chlazeným zařízením jsou hlavní kondenzátory turbogenerátorů (TG). Dalšími významným spotřebičem z hlediska odebíraného množství tepla jsou chladicí jednotky stanice zdroje chladu (SZCH).

Výtlaky dvou čerpadel cirkulační chladící vody se spojují do jednoho výtlačného řádu. Na výrobní bloky jsou tedy vedeny dva výtlačné řady.

Chemický režim v okruhu cirkulační chladicí vody se řídí pomocí odluhování.

Ztráty vody v okruhu vzniklé odluhem, odparem a únosem jsou doplňovány přídavnou vodou z úpravy chladicí vody.

9.2.2.3 Provoz systému cirkulační chladicí vody

Při normálním stavu obou bloku na plném výkonu jsou v provozu čtyři čerpadla cirkulační chladicí vody, čtyři chladicí věže, čistící zařízení a oba výtlačné a vratné řady.

Je-li v provozu jeden blok nebo při sníženém výkonu, je provozován potřebný počet čerpadel cirkulační chladicí vody a chladicích věží.

9.2.2.4 Bezpečnostní požadavky na systém cirkulační chladicí vody

Svou funkcí není systém cirkulační chladicí vody významný pro bezpečnost provozu zařízení jaderné elektrárny, ale některá jeho zařízení nebo stavební konstrukce úzce spolupracují se systémem technické vody důležité.

9.2.2.5 Zhodnocení provozu systému

Stav systému cirkulační chladicí vody je pravidelně hodnocen podle stanovených parametrů a kritérií. K hodnocení spolehlivosti systémů se využívají především parametry:

- Fyzický stav.
- Udržovatelnost a zajištěnost údržby.
- Bezpečnost.

Účelem tohoto hodnocení je shrnutí a vyhodnocení informací o provozu a stavu systému tak, aby bylo možné sledování spolehlivosti systému, identifikace odchylek od požadovaného stavu systému a včasné přijetí potřebných opatření.

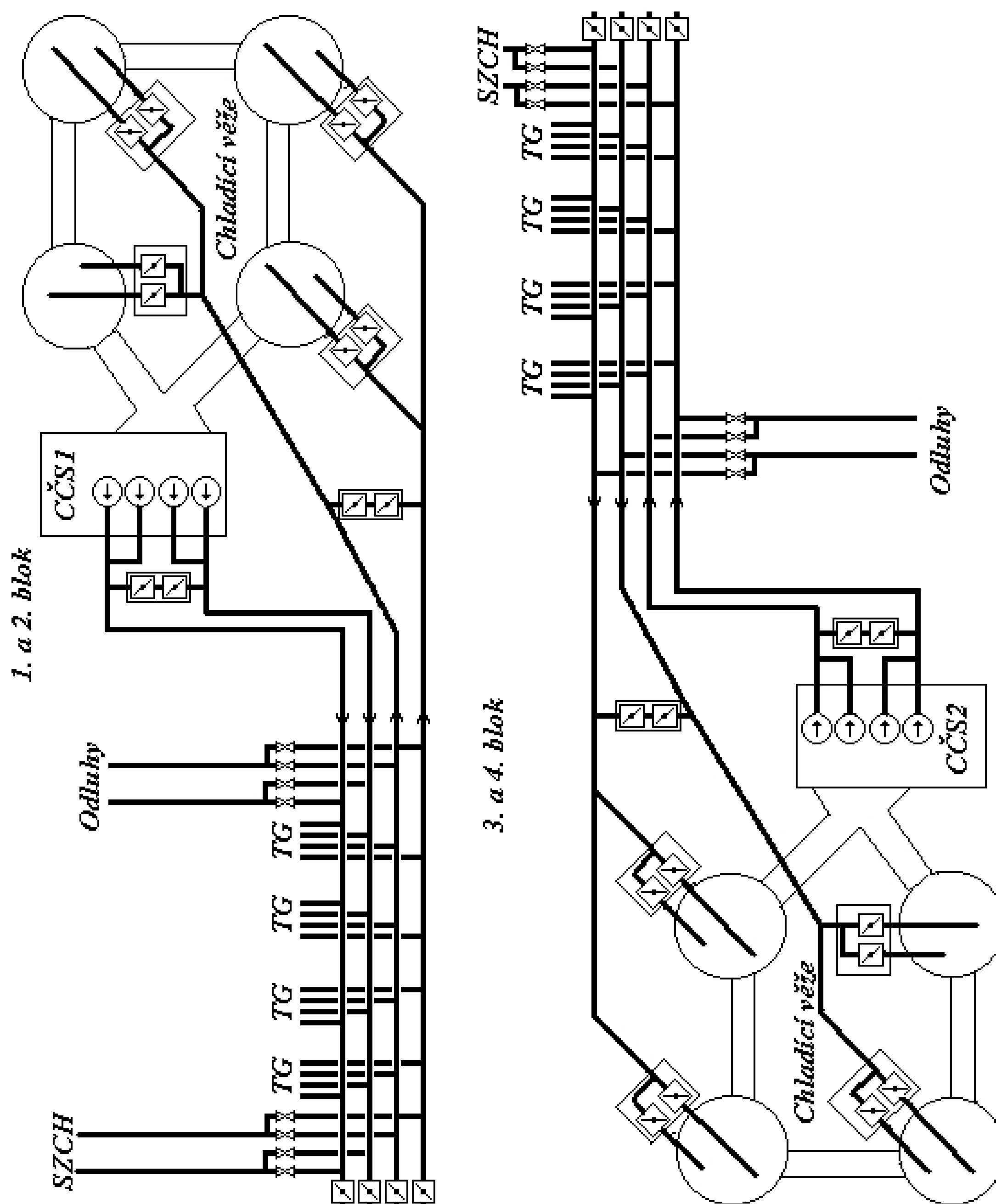
Nejvýznamnějšími modifikacemi systému cirkulační chladicí vody prováděnými v průběhu provozu EDU byly:

- Náhrada původního reléového systému řízení a ochran čerpadel cirkulační chladící vody za počítačový řídicí systém.
- Záměna stabilního čistícího zařízení s kartáči na řetězech za mobilní čistící stroj.
- Zvýšením výkonu reaktoru o 5 % došlo ke zvýšení odváděného tepla oproti předchozímu stavu. Z toho vyplynulo nevýznamné zvýšení teploty ochlazené vody v řádu desetin °C.

9.2.2.6 Hodnocení systému a jeho připravenost pro další provoz

Po dobu dosavadního provozu plnil systém své projektové funkce a vykazoval vysokou úroveň spolehlivosti.

Zachováním stávající formy kontrol, údržby a modernizací zařízení lze systém udržet ve spolehlivém a bezpečném stavu pro další provoz jaderné elektrárny Dukovany.



Obr. 120. Principiální schéma systému cirkulační chladicí vody

9.2.3 Systémy úpravy a skladování demineralizované vody

9.2.3.1 Účel systému skladování a úpravy demineralizované vody

Zařízení chemické úpravny vody slouží k výrobě a skladování demineralizované vody. Dále je součástí tohoto systému také sklad chemikálií a likvidace odpadních vod.

Demineralizovaná voda (demivoda) se používá pro doplňování primárního a sekundárního okruhu, horkovodního a vnitřního chladicího okruhu.

9.2.3.2 Koncepce projektového řešení systému

Chemická úpravna vody je společná pro všechny čtyři bloky a pomocné systémy JE a dispozičně je umístěn do stavebních objektů SO 590/1-01 (budova CHÚV), SO 592/1-01 budova neutralizace a skladování chemikálií, zásobní nádrže demineralizované vody a příslušná čerpadla jsou umístěna v přístavku u obou HVB.

Chemická úpravna vody je rozdělena projekčně na následující části:

- čiření a demineralizace,
- sklad chemikálií a neutralizace,
- sklad a čerpání demivody,
- sklad a čerpání hydrazinhydrátu.

Demilinka ve složení 3 x katex, 3 x anex v kruhovém zapojení + korekční demilinka 1x anex, 1x katex v linkovém zapojení s rezervou vykrývá potřeby výrobních bloků.

Význam skladu demivody pro jadernou bezpečnost vyplývá z jeho funkce – udržování stanovené zásoby demineralizované vody blok potřebné pro případné nouzové stavy.

Součástí chemické úpravy vody jsou rovněž čtyři zásobní nádrže á 360 m^3, ve kterých se shromažďuje znečištěný kondenzát a neagresivní voda z HVB I a II. Tento kondenzát se upravuje na pískových filtrech a korekční demilince.

V objektu se rovněž skladují kapalné a pevné chemikálie - hydroxid sodný, kyselina dusičná, čpavek, hydrazin, hydroxid draselný, kyselina boritá, siřičitan sodný, kyselina šťavelová, manganistan draselný, uhličitan sodný, fosforečnan sodný a ionexové hmoty.

Likvidace neaktivních agresivních odpadních vod se provádí neutralizací. Přednostně je využívána vzájemná neutralizace agresivních odpadních vod kyselých a alkalických.

9.2.3.3 Provoz systému

Zařízení CHÚV je provozováno nepřetržitě 24 hod. denně s ohledem na potřebu demineralizované vody.

Surová voda z vodojemů je přiváděna na čiření. Vyčiřená voda se filtruje na pískových filtrech. Takto předupravená voda se shromažďuje ve dvou jímkách každá o objemu 500 m^3. Následuje demineralizace pomocí ionexových filtrů.

Max. výkon zařízení CHÚV je 220 $m^3.hod^{-1}$ demineralizované vody. Vyrobená demivoda vedena dvěma trasami do HVB I + II, kde jsou umístěny zásobní nádrže na demivodu. Demivoda je skladována v šesti nádržích, každá má objem 1000 m^3. Zásoba demivody slouží k vyrovnání rozdílu mezi výrobou a spotřebou za provozu v nestacionárních stavech.

Před použitím v primárním a sekundárním okruhu je demineralizovaná voda upravována na směsných filtrech s interní regenerací, které zabezpečují požadovanou kvalitu dodávané vody.

Systém je provozován v souladu s provozním předpisem Chemická úprava vody.

9.2.3.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Zařízení sloužící pro výrobu demivody není významné pro bezpečnost provozu jaderné elektrárny. Systém nepatří do seznamu zařízení zařazených do bezpečnostních tříd dle vyhlášky SÚJB 132/2008 Sb. Systém neplní žádnou specifikovanou bezpečnostní funkci. Na systém se nevztahují žádné speciální požadavky legislativy v oblasti jaderné bezpečnosti.

Zařízení skladu a čerpání demivody, důležitá z hlediska bezpečnosti jaderných zařízení byla podle vyhlášky č. 132/2008 Sb. zařazena do bezpečnostní třídy 2.

Případné úniky skladovaných agresivních provozních chemikálií jsou eliminovány systémem záchytných van a svodu odpadů do neutralizační stanice.

9.2.3.5 Zhodnocení provozu systému výroby a skladování demineralizované vody

Stav systému skladování a úpravy demineralizované vody je pravidelně hodnocen podle stanovených parametrů a kritérií. K hodnocení spolehlivosti systémů se využívají především parametry:

- Fyzický stav.
- Udržovatelnost a zajištěnost údržby.
- Bezpečnost.

Účelem tohoto hodnocení je shrnutí a vyhodnocení informací o provozu a stavu systému tak, aby bylo možné sledování spolehlivosti systému, identifikace odchylek od požadovaného stavu systému a včasné přijetí potřebných opatření

Nejvýznamnějšími modifikacemi systému úpravy a skladování demineralizované vody prováděnými v průběhu provozu EDU1-4 byly:

- instalace čiřiče Densadeg v přístavbě CHÚV,
- instalace korekční drilinky, která minimalizuje kvalitativní výkyvy vyrobené demivody,
- záměna stávajících servopohonů elektroarmatur za nové moderní konstrukce,
- rekonstrukce regeneračního hospodářství.

Systém je pravidelně kontrolován a zkoušen, nevykazuje rostoucí nespolehlivost.

Systém provozních kontrol je uveden v provozních předpisech. Zkoušky a revize tlakových nádob stabilních se provádějí podle příslušných ČSN.

9.2.3.6 Hodnocení systému a jeho připravenost pro další provoz

Systém je projektován na dobu životnosti elektrárny. Dosavadní provoz systému byl bezpečný a spolehlivý. Systém skladování a úpravy demineralizované vody splňuje funkce požadované projektem. Životnost systému se jeví dostatečná. Pro další provoz nevyžaduje provedení podstatných úprav či změn. Jsou splněny předpoklady pro další bezproblémový a bezpečný provoz systému.

9.2.4 Systém pitné a sanitární vody

9.2.4.1 Účel systému

Systém pitné a sanitární vody slouží k zásobování areálu EDU pitnou vodou.

9.2.4.2 Koncepce projektového řešení systému

Dodávka pitné vody pro elektrárnu je zajištěna z vodojemu Slavětice, který má objem 1000 m^3. Ze skupinového vodojemu Moravský Krumlov - Slavětice je vedena přípojka DN 350 mm k areálu. Přípojka je součástí veřejného vodovodu Třebíč - Moravský Krumlov, který je zásoben upravenou vodou z vodní nádrže Vranov. Přípojka pitné vody je vedena od řadu LKD 300 mm vedeného podél silnice Slavětice - Dukovany. Profil přípojky pro EDU je DN 250 z ocelového potrubí. Na přípojce je osazena vodoměrná šachta, z níž je napájen vodojem pitné vody a čerpací stanice JE. Vodojem tvoří dva navzájem propojené kruhové podzemní zásobníky. Mezi zásobníky je umístěna manipulační komora s čerpací stanicí pitné vody udržující stálý tlak ve vodovodní síti uvnitř areálu.

Tento vodojem má výpočtovou jednodenní akumulaci pitné vody pro zajištění nezbytné zásoby vody v případě poruchy na zásobním veřejném řadu při kvalitním stavu vodovodního potrubí uvnitř areálu EDU.

Zvlášť je z přívodního řadu napojen areál Heřmanice a areál administrativních objektů severozápadně před areálem EDU.

Zásobování stavebního objektu čerpací stanice Jihlava je řešeno dopravou potřebného množství pitné vody mobilní cisternou.

9.2.4.3 Provoz systému

Vodovod včetně objektů je bez stálé obsluhy. Obsluha provádí pravidelně kontrolu funkčnosti zařízení a jeho údržbu.

9.2.4.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Systém pitné a sanitární vody nepatří do seznamu zařízení zařazených do bezpečnostních tříd dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. Systém neplní žádnou specifikovanou bezpečnostní funkci. Na systém se nevztahují žádné speciální požadavky legislativy v oblasti jaderné bezpečnosti.

Systém není seismicky kvalifikovaný. Není požadována jeho činnost v průběhu a po seismické události.

Provozuschopnost systému je nezbytná pro zajištění provozu EDU.

9.2.4.5 Zhodnocení provozu systému

Původní stav systému přinášel množství poruch s obtížnou lokalizací netěsností. To způsobovalo vysokou denní spotřebu vody. Proto byla realizována rekonstrukce pitného vodovodu. Došlo ke změnám použitého materiálu potrubních rozvodů a umístění potrubních tras ve větší míře do potrubních kanálů. To přineslo zefektivnění údržby a značné úspory pitné vody.

V areálu EDU se v souladu s vyhláškou Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb provádí kontrola pitné vody - 4x ročně krácený rozbor a 2x ročně úplný rozbor.

Zařízení systému pitné a sanitární vody je pravidelně kontrolováno, aby byla zabezpečena funkčnost systému, spolehlivá dodávka, nezávadnost a požadovaná kvalita pitné vody.

9.2.4.6 Hodnocení systému a jeho připravenost pro další provoz

Systém po provedené rekonstrukci a celkové obnově plní projektové předpoklady, vykazuje dobré provozní výsledky, neprojevuje se u něj nárůst poruchovosti, je pravidelně kontrolován a splňuje všechny požadavky na další spolehlivý provoz.

9.2.5 Koncový jímač tepla (chladicí věže s rozstřikem a ventilátorové věže)

9.2.5.1 Účel systému

V EDU je koncovým jímačem tepla atmosféra. Tepelná energie se z chlazených systémů a zařízení převádí do atmosféry prostřednictvím technické vody důležité, cirkulační chladicí vody a technické vody nedůležité v chladicích věžích s přirozeným tahem.

Přenos tepla z technické vody důležité do koncového jímače probíhá ve ventilátorových chladicích věžích. Jako diverzní způsob přenosu tepla z TVD do atmosféry lze použít původní systém chladicích věží chlazení cirkulační chladicí vody.

9.2.5.2 Koncepce projektového řešení systému

Systém cirkulační chladící vody (CCHV), TVN i systém technické vody důležité je proveden jako dvoublokový. Vždy pro HVB (dva bloky VVER) je vybudována jedna centrální čerpací stanice, která zahrnuje čerpání cirkulační chladící vody, technické vody nedůležité a technické vody důležité.

Systém technické vody důležité je součástí chladícího okruhu každého HVB elektrárny. Systém TVD je dvoublokový s třemi jednotlivými systémy, tvořící redundanci 3x100%.

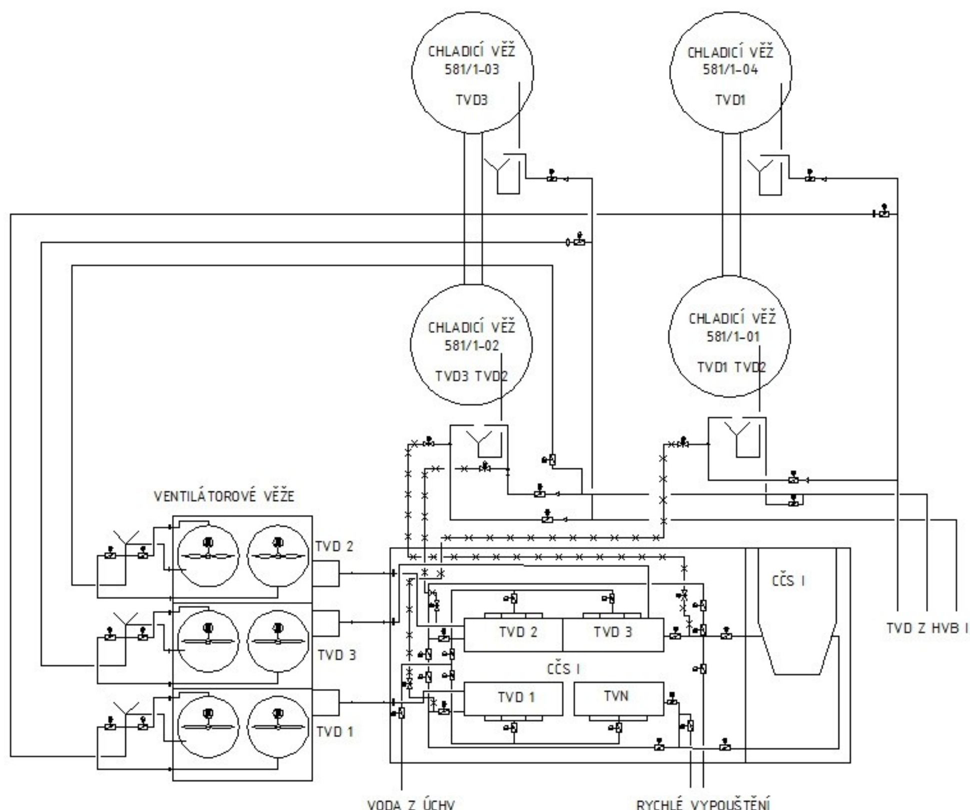
Na jeden dvoublok jsou vybudovány čtyři chladicí věže typu Itterson s přirozeným tahem. Oteplená cirkulační chladicí voda je do věže přiváděna potrubím DN 2200. TVN je přiváděna společně s CCHV.

Chladicí věže s přirozeným tahem vzduchu jsou tvořeny železobetonovou konstrukcí na betonových sloupech. Chladicí věže jsou tvořeny tahovým komínem a chladícím komplexem, který je uložen na soustavě podpěr. Voda je ve věži rozváděna systémem žlabů nebo trubek na rozstřikovací trysky. Chladicí věže jsou vybaveny chladicím systémem z plastových bloků a účinnými eliminátory, které omezují unášení vodních kapek v proudícím vzduchu.

V dolní části jsou věže opatřeny bazény pro sběr vody. Výška věží je 125 m a průměr bazénu je 98 m.

Za účelem posílení odolnosti proti extrémním vnějším vlivům byl vybudován nový systém chlazení technické vody důležité, který je schopen zabezpečit bezpečnostní funkce i při mimořádných iniciačních událostech (extrémní vítr).

Nový koncový jímač tepla (KJT) zajišťuje možnost odvodu tepla ze systému TVD pomocí ventilátorových chladicích věží. Pro každý podsystém TVD jsou vyhrazeny dvě buňky ventilátorové věže (3 x 2 buňky pro jeden HVB).



Obr. 121. Principiální schéma zapojení chladicích věží – chlazení TVD

9.2.5.3 Provoz systému

Chladicí věže s přirozeným tahem slouží v normálním provozu ke chlazení cirkulační chladicí vody (chlazení hlavních kondenzátorů turbogenerátorů). Na rozliv věže je zavedena rovněž technická voda důležitá, která má ve věžích samostatný rozvod nezávislý na provozu systému cirkulační chladicí vody a TVN. Každá chladicí věž slouží pro odvod tepla z jednoho turbogenerátoru.

Při poruchových režimech bloku je zajišťováno pouze chlazení TVD nebo je chlazení TVD převedeno na ventilátorové věže.

Pro provoz systému KJT a plnění bezpečnostní funkce je rozhodujícím parametrem zásoba vody využitelná pro výrobu demi vody a doplňování chladících okruhů TVD. Uvažuje se využití objemu gravitačního vodojemu, v sběrných nádržích chladicích věží vč. kanálů chladící vody a v centrální čerpací stanici.

Celková zásoba využitelná pro výrobu demi vody, a doplňování chladících okruhů TVD je cca 75 564 m^3. Při využití zásob vody v čiřičích v ÚCHV je k dispozici pro bezpečné odstavení bloku celková zásoba 81 564 m^3 vody.

9.2.5.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Chladicí věže s přirozeným tahem i nové ventilátorové věže jsou seismicky kvalifikované a musí být schopny vykonávat bezpečnostní funkci – chladit TVD v průběhu a po seismické události.

Chladicí věže s přirozeným tahem nejsou zařazeny mezi vybraná zařízení podle vyhl. 132/2008 Sb.

Ventilátorové věže jsou zařazeny mezi vybraná zařízení podle vyhl. 132/2008 Sb. Systém se účastní plnění bezpečnostních funkcí jako součást chlazení TVD. Bezpečnostní požadavky na koncový jímač tepla pro systém TVD jsou uvedeny souhrnně v požadavcích na systém TVD viz kapitola 9.2.1.4.

9.2.5.5 Zhodnocení provozu systému

Systém je pravidelně kontrolován a zkoušen, nevykazuje rostoucí nespolehlivost.

Realizované modifikace systému:

U chladicích věží s přirozeným tahem byl chladicí systém z azbestocementových desek nahrazen v průběhu let 1994 až 1997 chladicím systémem z desek PVC.

Nejvýznamnější modifikací systému koncového jímače tepla bylo zodolnění tohoto systému pro případ extrémních externích událostí prostřednictvím instalace nové sestavy ventilátorových věží, které budou v mimořádných podmínkách bezpečně zajišťovat koncový odvod tepla ze systému TVD.

9.2.5.6 Hodnocení systému a jeho připravenost pro další provoz

Systém plní projektové předpoklady, vykazuje dobré provozní výsledky, neprojevuje se u něj nárůst poruchovosti, je pravidelně kontrolován a splňuje všechny požadavky na další spolehlivý provoz. Realizací nových ventilátorových věží byla posílena jeho bezpečnostní kapacitní rezerva, spolehlivost a odolnost proti extrémním vnějším vlivům.

9.2.6 Systém doplňování vody do elektrárny

9.2.6.1 Účel systému

Systém doplňování vody do elektrárny zajišťuje dodávku průmyslové vody pro potřeby EDU.

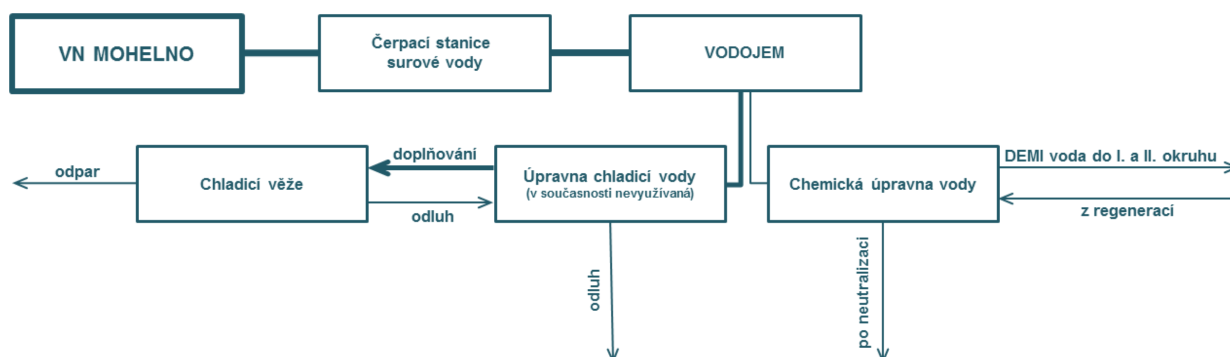
9.2.6.2 Koncepce projektového řešení systému

Z prostoru vyrovnávací nádrže Mohelno je voda čerpána do vyrovnávacího vodojemu a odtud je nátok do prostoru JE zajištěn samospádem. Tato voda především slouží pro doplnění ztrát systému chladící cirkulační vody. Část je potom používána k výrobě demineralizované vody a k chlazení nízkotlakých kompresorů.

Principiální schéma systému doplňování vody do elektrárny:



Obr. 122. Schéma doplňování vody do EDU1-4



Obr. 123. Schéma odběru a využití surové vody v technologii EDU

Vtokový objekt čerpací stanice na vodní nádrži Mohelno je rozdělen na dvě poloviny. Každá obsahuje čtyři čerpadla. Instalovaná čerpadla jsou vertikální odstředivá spirální dvoustupňová s radiálními oběžnými koly. Jsou poháněna asynchronními 6kV elektromotory:

průtok Q = 400 l/s, tlak ve výtlaku p= 1,21 MPa

Výtlačné řády z čerpací stanice ke gravitačnímu vodojemu:

Potrubí hlavních výtlačných řadů je uloženo v zemi. Jejich délka je asi 1 km a překonávají převýšení 107 až 121 m v závislosti na hladině v nádrži Mohelno. Ochranu výtlačných řadů proti hydraulickému rázu vykonává deset větrníků připojených k výtlačnému potrubí.

Gravitační vodojem je betonový objekt tvořený armaturní komorou a čtyřmi samostatnými komorami s celkovým objemem 4 x 2000 m^3.

9.2.6.3 Provoz systému

Při normální funkci systému doplňování vody do elektrárny je v provozu potřebný počet čerpadel na základě množství spotřebovávané vody z gravitačního vodojemu. V provozu oba výtlačné řády k vodojemu, čtyři komory vodojemu a oba řady gravitačního přívodu vody do elektrárny.

V případě výpadku čerpací stanice a následného poklesu hladiny v gravitačním vodojemu se odstavují odluhy chladicích okruhů, odděluje se přívod surové vody pro úpravu chladicí vody (ÚCHV). Veškerá zbylá voda v gravitačním vodojemu a přívodních řádech (cca 2000 m^3) tím zůstává zabezpečena pro výrobu demivody, která je potřebná na následné odstavení a vychlazení bloků. Při poklesu zásoby demivody pro.HVB na hodnotu 1500 m^3 je nutno zahájit odstavování příslušných bloků.

9.2.6.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Systém doplňování vody do elektrárny se nezúčastňuje přímo řešení poruchových stavů, které mají vliv na jadernou bezpečnost. V případě ztráty napájení vlastní spotřeby el. energie dojde k odstavení systému doplňování vody do elektrárny.

Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb systém doplňování vody do elektrárny není zařazen mezi vybraná zařízení. Systém není seismicky kvalifikovaný. Není požadována jeho činnost v průběhu a po seismické události.

Podrobným rozborem následků výpadku čerpací stanice Jihlava bylo prokázáno, že zásoby vody na EDU pro plnění základních bezpečnostních funkcí jsou dostatečné a zajišťují možnost odvodu tepla po dobu cca 30 dnů. Do té doby lze zprovoznit náhradní zdroj např. pitnou vodu nebo opravit zdroj původní.

9.2.6.5 Zhodnocení provozu systému

Na zařízení systému doplňování vody do elektrárny nebyly realizovány žádné změny mimo náhrad armatur, jejichž výroba je již zastavena. Tyto byly nahrazeny novým odpovídajícím typem.

V roce 2013 byla provedena výměna přívodního a odvodního potrubí v délce cca 20 m na vstupu a výstupu z gravitačního vodojemu.

Podle provozních předpisů jsou pravidelně v určených intervalech prováděny funkční zkoušky a provozní kontroly systému a jeho komponent. Zkoušky a revize tlakových nádob stabilních se provádějí podle příslušné ČSN.

U čerpadel je prováděno sledování jejich stavu pomocí analýzy vibrací. Toto umožňuje zjišťování poruch a závad většiny běžných strojních součástí v jejich počátečním stádiu

9.2.6.6 Hodnocení systému a jeho připravenost pro další provoz

Systém doplňování vody do elektrárny plní svoji funkci a nejsou známa omezení, která by bránila dalšímu provozu zařízení.

Zachováním stávající formy údržby zařízení a jeho modernizací lze systém udržet v provozuschopném stavu po celou dobu dalšího předpokládaného provozu EDU1-4.

9.2.7 Systémy odpadních vod z JE

9.2.7.1 Účel systému

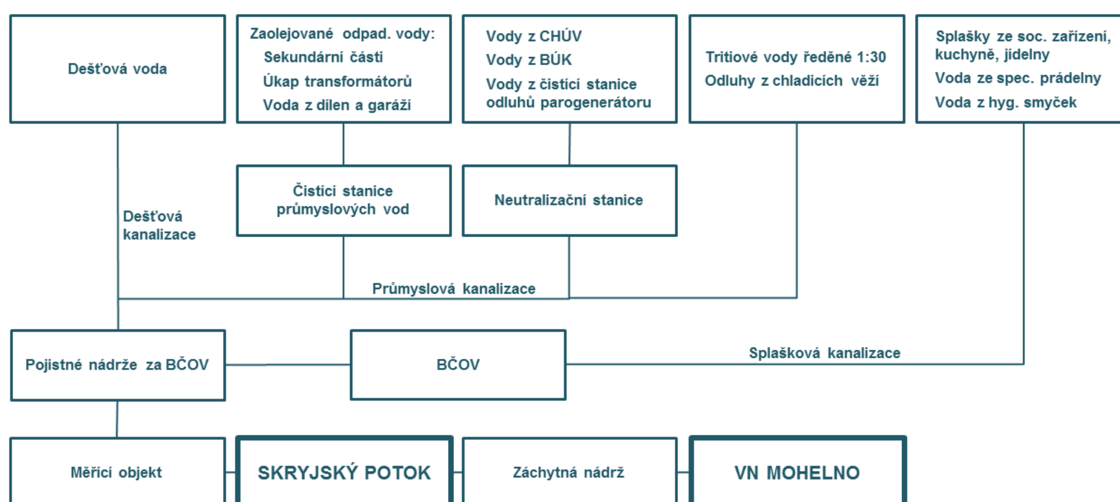
Jaderná elektrárna Dukovany se z vodohospodářského hlediska nachází v hydrogeologickém povodí, které je odvodňováno řekou Jihlavou a následně řekou Dyjí, Moravou a Dunajem do Černého moře.

V blízkosti jaderné elektrárny je na řece Jihlavě vodní dílo Dalešice, které sestává z horní nádrže Dalešice a z dolní vyrovnávací nádrže Mohelno. Odpadní vody jsou vypouštěny do dolní nádrže Mohelno.

Systém odpadních vod z JE je členěn na následující části:

a) Výsledný sběrač dešťových a splaškových vod, ČOV a pojistná nádrž na Skryjském potoce.
b) Dešťová kanalizace.
c) Splašková kanalizace.
d) Průmyslová kanalizace.

Odpadní voda z elektrárny se vypouští výsledným sběračem do záchytné nádrže na Skryjském potoce a prostřednictvím toku tohoto potoka do recipientu, řeky Jihlavy ve vzdutí nádrže Mohelno. Do výsledného sběrače jsou zavedeny: dešťová kanalizace (přes retenční nádrže), splašková kanalizace (přes čisticí stanici odpadních vod), průmyslová kanalizace zaolejovaná (přes čisticí stanici zaolejovaných vod) a průmyslová kanalizace speciální (odluhy z chladicích okruhů, vody z chemických provozů a vody z kontrolovaného pásma (přes kontrolní nádrže).



Obr. 124. Blokové uspořádání kanalizací a vypouštění vod z EDU

9.2.7.2 Koncepce projektového řešení systému

Na EDU existují čtyři typy kanalizací - dešťová, splašková, průmyslová a speciální o celkové délce 17 000 m. Mimo vlastní oplocený areál elektrárny jsou v EDU samostatné soustavy kanalizačních řadů (dešťová a splašková) pro areál Heřmanice a pro administrativní objekty severně od oploceného areálu elektrárny.

9.2.7.2.1 Výsledný sběrač splaškových a dešťových vod, ČOV a Záchytná nádrž na Skryjském potoce

Výsledný sběrač dešťových vod

Do výsledného kanalizačního sběrače dešťových vod jsou přivedeny hlavní dešťové sběrače celého areálu elektrárny.

Výsledný splaškový sběrač do ČOV

Sběrač odvádí do čistírny odpadních vod odpadní vody ze sociálních zařízení, jídelny, kuchyně, odpadní vody ze speciální prádelny, laboratoří a hygienických smyček.

Čistírna odpadních vod

Je mechanicko - biologická čistírna. Mechanické předčištění tvoří lapák písku česlemi. Odpadní voda předčištěná na jemných česlích a zbavena písku v lapáku částečně přepadá do čerpací akumulační jímky o užitkovém objemu cca 200 m^3, z níž jsou odpadní vody po přechodu špičky postupně opět odčerpávány. Biologickou část ČOV tvoří dvě aktivační nádrže. V nádržích jsou instalovány provzdušňovací turbíny Do jednotlivých aktivačních (2x 300 m^3) nádrží přitéká odpadní voda přes rozdělovací jímku s uzávěry.

.

Průtokové pojistné nádrže jsou umístěny v oploceném areálu ČOV. Pojistné nádrže mají za úkol sedimentací zachytit splaveniny z areálu JE přitékající dešťovou kanalizací. Mimo to slouží pro dočištění vyčištěných splaškových vod a také jako poslední záchytný bod v případě havárie, při níž se dostanou do kanalizačního dešťového sběrače závadné látky, které musejí být zachyceny a likvidovány před výtokem odpadních vod do Skryjského potoka.

Záchytná nádrž na Skryjském potoce

Záchytná nádrž na Skryjském potoce je vodohospodářské dílo, které slouží jako záchytný prostor umožňující při mimořádných poměrech ve vypouštění odpadních vod z

EDU zásah proti proniknutí plovoucího znečištění (hlavně ropných látek) do Skryjského potoka.

Záchytná nádrž má objem 39 200 m^3 a zatopenou plochu 1,17 ha.

Přítok odpadních vod z EDU do nádrže Q= 0,400 m^3/s.

9.2.7.2.2 Dešťová kanalizace

Síť dešťové kanalizace EDU je rozsáhlá a jsou do ní napojeny dešťové vody z jednotlivých objektů, z komunikací a zpevněných ploch, odvodnění kabelových a potrubních kanálů a odvodnění vleček. Síť je navržena jako větevná soustava. Skládá se ze tří hlavních dešťových sběračů, které probíhají napříč elektrárnou v severojižním směru a nad areálem EDU se napojují do výsledného kanalizačního sběrače. Mimo tyto hlavní sběrače je několik vedlejších.

9.2.7.2.3 Splašková kanalizace

Splašková kanalizace uvnitř areálu EDU odvádí splaškové odpadní vody ze sociálního zařízení, jídelny a kuchyně, vody ze speciální prádelny, laboratoří a hygienických smyček. Výsledným sběračem jsou veškeré splaškové odpadní vody odvedeny do čistírny splaškových vod

Celá hlavní síť splaškové kanalizace je gravitační a pouze z několika objektů se splaškové vody do této sítě přečerpávají prostřednictvím malých čerpacích jímek na přípojkách. Splaškovou kanalizací odtéká přibližně 400 m^3/den.

9.2.7.2.4 Průmyslová kanalizace

EDU má vybudované dva druhy tzv. průmyslové kanalizace, z nichž jedna je označená jako „P“ odvádí odpadní vody znečištěné ropnými produkty na centrální gravitační odlučovač olejů z objektů sekundární části, objektů elektro, dílen a garáží. Druhá kanalizace označená jako „S“ odvádí vody z primárního okruhu (vody z kontrolních nádrží v BAPP I, II) naředěné cirkulační chladicí vodou, dále vody z úpravy turbínových kondenzátů (ÚTK), odpadní vody z praní filtrů čistící stanice odluhů parogenerátorů, vody z CHÚV a především regulovaný odluh chladicí vody.

Kanalizace „P“ - je za centrálním gravitačním odlučovačem po vyčištění zaolejovaných vod propojena s dešťovou kanalizací.

Kanalizace „S“ - byla původně navržena jako samostatná síť, aby bylo umožněno odvést odpadní vody do ní zaústěné případně zcela samostatně z JE. Konečným vývojem schvalovacího řízení EDU došlo k propojení s dešťovou kanalizací.

9.2.7.3 Provoz systému

Provoz a údržba je prováděna v souladu s vypracovanými manipulačními řády. Všechny sítě a přípojky jsou udržovány a obsluhovány tak, aby byla zachována jejich plná provozuschopnost a průtočnost.

Splašková kanalizace

V síti splaškové kanalizace se sleduje, aby se do splaškové kanalizace dostávaly pouze splaškové vody nezávadného charakteru, které lze následně na ČOV vyčistit tj. bez aktivity, bez tuků apod.

Sledování a kontrola provozu splaškových odpadních vod se na výsledném splaškovém sběrači provádí v objektu mechanického předčištění ČOV.

U splaškových vod z hygienických smyček z kontrolovaného pásma a speciální prádelny v objektu Provozní budovy I, II je kontrolovaná aktivita. Podle výsledků naměřených hodnot jsou vody vypouštěny buď do speciální kanalizace na čištění nebo do splaškové kanalizace.

ČOV

V objektu je stálá obsluha, která provádí činnosti dle manipulačního řádu a provozního předpisu. Na přítoku do ČOV a odtoku z ČOV se sledují ukazatele kvality vod:

chemická spotřeba kyslíku DICHROMANEM CHSK (Cr)
biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní - BSK 5
nerozpuštěné látky NL

Průmyslová kanalizace

Dle výsledků provozních měření ze všech bloků EDU činí průměrné vypouštěné množství průmyslových vod:

odluhy chladicích věží 16 500 000 m^3/rok = 523 l/s

odpadní vody zaolejované 250 000 m^3/rok = 7,9 l/s

odpadní vody z kontrolních nádrží 20 000 m^3/rok

odpadní vody z neutralizace 230 000 m^3/rok

Odpadní vody zaolejované

V objektech, ve kterých se manipuluje s ropnými látkami a kde vznikají zaolejované vody, jsou vybudovány záchytné jímky, odlučovače apod., aby se do kanalizace nedostaly koncentráty ropných látek. Zachycené ropné látky ve sběrných a záchytných jímkách, v odlučovačích apod. jsou likvidovány v souladu s platnou legislativou.

Provoz, čištění a údržba průmyslové kanalizace je obdobná jako v případě dešťové a splaškové kanalizace.

9.2.7.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Na systém se nevztahují žádné speciální požadavky legislativy v oblasti jaderné bezpečnosti. Systémy odpadních vod EDU nepatří do seznamu zařízení zařazených do bezpečnostních tříd dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. Systém neplní žádnou specifikovanou bezpečnostní funkci.

Provozuschopnost systému je nezbytná pro zajištění provozu EDU.

9.2.7.5 Zhodnocení provozu systému

V systému odpadních vod z JE byly provedeny komplexní opravy. Jednotlivé kanalizační řady systému jsou v dobrém technickém stavu. Prostřednictvím pravidelného monitoringu je udržován přehled o stavu jednotlivých stok. Vzhledem k provádění celoplošných sanací nejsou nutné žádné zásahy na opravených stokách.

9.2.7.6 Hodnocení systému a jeho připravenost pro další provoz

Systém plní projektové předpoklady, vykazuje dobré provozní výsledky, neprojevuje se u něj výrazný nárůst poruchovosti, je pravidelně kontrolován a splňuje všechny požadavky na spolehlivý provoz.

9.3 Pomocné provozní systémy

9.3.1 Systém stlačeného vzduchu

9.3.1.1 Účel systému

Stlačený vzduch je pro potřeby zařízení elektrárny zajišťován jednak z vysokotlaké kompresorové stanice (VTKS I) pro HVB I a (VTKS II) pro HVB II a z nízkotlaké kompresorové stanice (NTKS).

9.3.1.2 Koncepce projektového řešení systému

Vysokotlaký vzduch

Vysokotlaké kompresorové stanice jsou umístěny v samostatných objektech. Slouží jako zdroj stlačeného vzduchu pro pneumatické pohony rychlouzavíracích armatur, které oddělují hermetickou zónu reaktorovny při havárii.

Tyto armatury jsou osazeny na potrubích, procházejících hermetickou zónou. V případě havárie spojené s únikem chladiva z reaktoru se automaticky buď uzavírají (u systémů, u nichž může dojít k úniku aktivity potrubím) nebo otevírají (u bezpečnostních systémů, které slouží k zalití aktivní zóny reaktoru při havárii).

Každý hlavní výrobní blok má svoji vysokotlakou kompresorovou stanici. Mezi VTKS I a VTKS II je zdvojený propoj, který umožňuje kombinovaný provoz VTKS dle potřeb pro jednotlivé HVB.

V kompresorové stanici jsou instalovány tři systémy produkce VT vzduchu. Každý tento systém obsahuje kompresorový agregát, blok sušení vzduchu a vzdušník.

Tlak ve vzduchojemech je udržován v rozmezí 4,3 ÷ 4,8 MPa.

Nízkotlaký vzduch

Nízkotlaká kompresorová stanice slouží pro celý areál elektrárny. NTKS je umístěna ve společném objektu spolu se stanicí zdroje chladu. Nízkotlaká kompresorová stanice slouží jako zdroj nízkotlakého vzduchu o tlaku 0,9 MPa.

NT vzduch dodáván jako sušený (vysušen na rosný bod -40°C) nebo jako pracovní.

Tlakový vzduch z NT kompresorové stanice zajišťuje ovládání zpětných odběrových klapek TG, ovládání impulzních pojišťovacích ventilů, slouží ke zkoušení generátoru a dále jako pracovní slouží k technologickému použití v celém areálu JE.

V hale strojovny NTKS jsou umístěny čtyři kompresory typu DZK 255/163-5, dva kompresory typu DZK 163/125s-5, sušička vzduchu a jejich příslušenství.

9.3.1.3 Provoz systému

Vysokotlaký vzduch

Provozní režimy systému jsou:

- studený stav,
- horká rezerva,
- normální provoz.

Navolený VT kompresor se zapíná/vypíná automaticky od tlaku ve výtlačném kolektoru VT kompresorů. Kompresor stlačuje atmosférický vzduch postupně ve čtyřech stupních. Stlačený vzduch se ochlazuje za každým stupněm v chladiči a čistí se v bloku čištění. Z bloku čištění je potrubními rozvody dopravován do vzdušníků.

Za nominálního provozu je postačující výkon jednoho VT kompresoru v automatickém režimu pro doplňování vzdušníků všech čtyř bloků. Propojení mezi systémy VTKS I a VTKS II je otevřeno. Ostatní kompresory jsou v rezervě. V případě vyšší

spotřeby VT vzduchu a současného chodu dvou kompresorů je propoj mezi HVB1 a HVB 2 uzavřen.

Nízkotlaký vzduch

Atmosférický vzduch je společným sacím potrubím nasáván z venkovního prostoru přes filtr a tlumič hluku jednotlivými šroubovými kompresory.

Potrubními trasami je vzduch veden do jedenácti nízkotlakých vzdušníků. Každý vzdušník má objem 16 m^3. Ze vzdušníků, které vyrovnávají nerovnoměrnosti v odběru, je vzduch veden do rozdělovače, pro krytí potřeby pracovního vzduchu všech bloků. Část vzduchu jde z rozdělovače za vzdušníky na sušící blok pro dodávku sušeného vzduchu.

9.3.1.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Vysokotlaký vzduch

Zařízení systému VT vzduchu nejsou zařazena mezi seizmicky odolná. Výjimku tvoří zásobní VT vzduchojemy, pro které se požaduje seismická odolnost typu 1b. Systém je zařazen do BT3 dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb.

Nízkotlaký vzduch

Systém NT vzduchu není bezpečnostním systémem ani nesouvisí s jadernou bezpečností. Krátkodobé přerušení dodávky sušeného i částečně sušeného vzduchu nemá za následek výpadek hlavního technologického zařízení a ani nemá dopad na jadernou bezpečnost.

Žádné ze zařízení systému není navrženo jako seizmicky odolné.

Z hlediska vyhlášky SÚJB č.132/2008 Sb. jsou mezi vybraná zařízení v bezpečnostní třídě 3 zařazeny armatury na rozvodech NT vzduchu v reaktorovně.

9.3.1.5 Požadavky na zkoušky systému

9.3.1.6 Hodnocení provozu systému

V průběhu provozu EDU byly na zařízení systému vzduchu provedeny modifikace, které převážně souvisí s vyčerpáním životnosti některých zařízení a s vývojem požadavků na zvýšenou spolehlivost systému.

Nejvýznamnějšími modifikacemi systému VT a NT vzduchu prováděnými v průběhu provozu JE byly:

- Propojení vysokotlakých kompresorových stanic.
- Výměna VT kompresorů ve VTKS II.
- VTKS II - rekonstrukce sušení VT vzduchu, záměna stávajících sušičů za nové adsorpční.
- Výměna potrubí TVD do VTKSI.
- Záměna stávajících servopohonů v reaktorovně za nové moderní konstrukce.
- NTKS - změna konfigurace sušení NT vzduchu, záměna sušičky.

Systém je pravidelně kontrolován a zkoušen, nevykazuje rostoucí nespolehlivost. Provozované stroje se pravidelně přepínají tak, aby jejich opotřebení bylo rovnoměrné.

Systém provozních kontrol je uveden v provozních předpisech. Zkoušky a revize tlakových nádob stabilních se provádějí podle příslušné ČSN.

9.3.1.7 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Provoz VT i NT vzduchu je spolehlivý, plní projektovou funkci, je bezpečný a bez poruch, které by zásadně ovlivnily jeho provozuschopnost, a nevyžaduje žádné změny z hlediska dalšího provozu jaderné elektrárny Dukovany.

9.3.2 Systém odběrů vzorků

9.3.2.1 Účel systému odběru vzorků

Systém odběru vzorků umožňuje monitoring prakticky všech technologických okruhů jaderné elektrárny, jak v primárním, tak sekundárním okruhu. Poskytuje tím základní informace k dodržování chemických režimů médií. Úspěšné odebrání representativního vzorku technologického média tvoří základní předpoklad pro stanovení sledovaných parametrů média. Mimo fyzikálních, chemických, biologických a jaderně-fyzikálních parametrů je sledováno i složení pracovních médií a správné vedení chemických procesů.

9.3.2.2 Koncepce projektového řešení systému odběru vzorků

Potrubní trasy systému odběru vzorků kapalných, respektive plynných médií, odebírané médium upravují tak, aby jeho teplota nepřesáhla 60°C a na výstupu mělo nízký tlak. Výjimkou jsou odběry z koncentrátu odparky a doodparky čistících stanic, které kvůli zvýšené koncentraci a možné krystalizaci kyseliny borité, není možné chladit na nižší teplotu než 60°C.

Odběrové trasy začínají na první armatuře oddělující technologický okruh a odběrovou trasu. Tyto armatury, které jsou označovány jako oddělovací, jsou ještě součástí příslušného technologického okruhu. Uspořádání komponent odběrových tras je dáno fyzikálními a jaderně-fyzikálními parametry odebíraného média. Odběrové trasy jsou zakončeny v odběrových boxech, odběrových žlabech nebo v systému kontinuálního měření HVB 1,2 a BAPP 1,2 (Budova aktivních pomocných provozů).

Hlavními komponenty odběrových tras jsou chladiče, odběrové boxy, odběrové žlaby, armatury a průtokoměry a teploměry. Chladiče jsou do tras zařazeny v případě, že teplota odebíraného média přesahuje 80°C. Odběrové boxy jsou hermetické komory sloužící k bezpečnému odběru radioaktivních vzorků. Odběrové žlaby jsou vany sloužící k odběru neaktivních vzorků.

9.3.2.3 Provoz systému odběru vzorků

Provoz jednotlivých odběrových tras je navržen tak, aby odebrané vzorky v co největší míře reprezentovali celek, který má být monitorován. Program odběru vzorků je sestaven na základě cílů, které mají být odběry zabezpečeny. Program obsahuje místa, ze kterých jsou vzorky odebírány, četnost, časové údaje a způsob vzorkování i následné úpravy vzorků. Vedle toho je sestaven seznam potřebných ukazatelů a analytické postupy k vyhodnocení vzorků.

Pro získání reprezentativních vzorků je nutné před samotným odběrem vzorku trasy odběru vzorků, které nejsou v trvalém provoze propláchnout při naplno otevřených armaturách tak dlouho, aby trasami prošel minimálně trojnásobný objem trasy do odpadu, do kterého je vytvořeno zaústění v odběrových boxech, popřípadě žlabech. Po odebrání vzorku musí být vzorek zajištěn ve vzorkovnici tak, aby nedošlo k jeho znehodnocení nebo zkreslení stanovovaných parametrů až do doby jeho vyhodnocení. Maximální množství odebraného objemu vzorku je 1000 ml. Stanovené parametry vzorků jsou zapisovány do informačního systému Chemis.

9.3.2.4 Bezpečnostní požadavky na systém odběru vzorků

Systém odběru vzorků během normálního provozu umožňuje odebírání vzorků provozních médií k periodickým analýzám sloužícím k řízení jakosti, k charakterizaci jakosti a identifikace zdrojů znečištění technologických médií.

Systém odběrů vzorků neplní bezpečnostní funkci, ale je důležitý z pohledu monitorování správné funkce technologických systémů a předcházení událostí vyplývající z poškození systémů. Z hlediska vyhlášky SÚJB č.132/2008 Sb. o systému jakosti, jsou do bezpečnostní třídy BT2 (2d) zařazeny jen oddělovací armatury zajišťující funkci izolace hermetické zóny od okolí.

Armatury lokalizačních skupin jsou zařazeny do seismické kategorie 1a, spojovací potrubí lokalizačních skupin je zařazeno do seismické kategorie 1b. Ostatní potrubní trasy a komponenty jsou zařazeny do seismické kategorie 2b.

9.3.2.5 Hodnocení provozu systému odběru vzorků

Během 30 let provozu jaderné elektrárny Dukovany byly provedeny modifikace vybraných tras systému odběru vzorku vedoucí k zajištění kontinuálního měření. Za zmínku stojí především kontinualizace měření na odluzích parogenerátoru. Dále probíhá průběžná obměna technologických zařízení odběrových tras a modernizace měřících zařízení. Poslední rozsáhlejší rekonstrukce proběhla na odběrových trasách sloužících k odběru vzorků v roce 2013.

Spolehlivost systému odběru vzorků lze hodnotit pro systém odběru vzorků ze dvou hledisek. Prvním hlediskem je zajištění bezpečnosti obsluhujícího personálu. Odběry vzorků jsou zajištěny pracovníky chemické kontroly. Zařízení nevyžadují nepřetržitou obsluhu. Četnost odběrů pro jednotlivé analýzy je dána potřebou kontroly jednotlivých technologických okruhů a provozními režimy. Obsluhující personál se řídí bezpečnostními a hygienickými předpisy. Pro odběry vzorků s vyšší aktivitou slouží speciální odběrové boxy. V těchto boxech je zabezpečeno odsávání do speciální ventilace a odpad je sveden do nádrží nečistého kondenzátu. Druhým hlediskem je zajištění těsnosti na hranici hermetické zóny bariérou. Tato hranice je tvořena lokalizační skupinou oddělovacích armatur. Ke zkouškám těsnosti lokalizačních skupin je určena pravidelná tlaková zkouška těsnosti hermetické zóny (HZ-PERIZ), která se provádí před uvedením jaderné elektrárny do provozu po pravidelných odstávkách pro výměnu paliva.

9.3.2.6 Vyhodnocení připravenosti systému odběru vzorků na další provoz

Systém plní projektovou funkci, nevykazuje rostoucí poruchovost a lze předpokládat, že bude schopen bezproblémového provozu po dobu následujících 10 let.

9.3.3 Drenážní systémy (Speciální kanalizace)

9.3.3.1 Účel systému

Systém speciální kanalizace zajišťuje odvod, třídění, sběr a shromažďování odpadních vod z kontrolovaného pásma vymezeného v objektech jadrné části jaderné elektrárny. Jedná se o vody z drenáží a odvzdušnění technologických systémů, z dekontaminace zařízení a povrchů místností, odběrů vzorků, hygienických smyček a ostatních odpadních vod vzniklých v kontrolovaném pásmu. Zajišťuje rovněž sběr médií uniklých do místností v případě porušení těsnosti aparátů a potrubí (tzv. neorganizované úniky). Vody jsou shromažďovány dle jejich třídění v příslušných nádržích a dle druhu média následně buď zpracovány jako radioaktivní odpad (RAO), nebo v případě splnění podmínek pro vypuštění mimo kontrolované pásmo jsou po radiochemické kontrole vypuštěny do venkovní kanalizace.

9.3.3.2 Koncepce projektového řešení

Vymezení kontrolovaného pásma a s tím související systémy speciální kanalizace jsou součástí objektů 800/1-01 Reaktorovna HVB I, 800/1-02 Reaktorovna HVB II, 803/1-01 Provozní budova I, 803/1-01 Provozní budova II, 801/1-01 Budova aktivních pomocných provozů HVB I, 801/1-02 Budova aktivních pomocných provozů HVB II, 809/01 Zpevňování RAO a příslušné části mostů včetně ventilačního komína HVB I, II.

Vstupy do speciální kanalizace (SK) jsou provedeny buď přímým navařením technologického potrubí do trasy SK, navařením do uzavíratelné vpusti (některé drenáže a odvzdušnění), nebo přímo přes vpust v podlaze místnosti. Podlaha každé místnosti, ve které lze předpokládat vznik odpadních vod obsahujících radionuklidy je spádována do tzv. vpusti (nebo několika vpustí) SK. Na nejnižších podlažích příslušného objektu jsou v podlaze některých místností (kde je možný únik média s radionuklidy) vybudované kanalizační sběrné jímky, ze kterých se případný nátok přečerpává do systému SK.

Odpadní vody jsou v objektu shromažďovány v nádržích (jímkách) odpadních vod a odtud přečerpávány ke zpracování do systému skladování a zpracování odpadních vod v budově aktivních pomocných provozů (BAPP).

Vpusti jsou dvojího druhu - vpust s mřížkou, kde nelze uzavřít vstup do speciální kanalizace a uzavíratelná vpust, kterou lze uzavřít a tím oddělit SK od příslušného prostoru. K zamezení průniku vzdušin mezi jednotlivými místnostmi propojenými vpustěmi SK je vpust opatřena hydrouzávěrem a uzavíracím ventilem. Ovládání ventilu je buď přímo na vpusti, nebo má ovládání dálkové. V místnostech s omezeným pobytem jsou uzavírací ventily opatřeny dálkovým ovládáním a měřením hladiny, do blokové dozorny je signalizován případný únik vod a výskyt vody na podlaze. V takovém případě je nutno místnost vydrenážovat (otevřít ventil na vpusti) a odstranit příčinu úniku. Chodby jsou opatřeny pouze vpusťmi s mřížkou.

Odvod kapaliny z vpusti je podle potřeby upraven na přímý ze dna, nebo odvod boční. Podle předpokládaných množství odváděných vod je stanoven i průměr odvodního potrubí vpusti – nejčastěji průměr DN50 až DN100. Je dodržována zásada zajištění oddělení sběrných kolektorů do speciálních prostor s omezeným a neomezeným pobytem osob, rovněž SK hermetického prostoru je od ostatní SK oddělena.

Potrubí systému SK je z materiálu nerezová ocel. Potrubní trasy jsou spádované a vedené v kanálcích podlah s nerezovou vystýlkou, zakrytých snímatelnými betonovými či ocelovými překrytími v závislosti na aktivitě vedeného média SK a prostředí, kterým procházejí. Pro možnost kontroly množství natékajícího média do SK jsou na vybraných potrubních trasách osazena průhledítka.

SK v každé z reaktoroven je rozdělena do tří samostatných systémů – SK v hermetickém prostoru, SK nečistá a SK čistá. Systém odpadů je řešen jako gravitační a veškerá voda je vedena do jímky na podlaží – 10,50 m.

SK v BAPP je rozdělena na dvě samostatné větve – větev nečistou a větev čistou. Systém odpadů je řešen jako gravitační a veškerá voda je svedena do nádrží na podlaží - 0,90 m.

SK v provozní budově je rozdělena do dvou samostatných systémů sloužících k odvodu vody z kontrolovaného pásma budovy. Jeden systém odvádí vody od digestoří, technologického zařízení a vpustí s vysokou pravděpodobností obsahu radionuklidů. Druhý systém odvádí vody především od laboratorních stolů, digestoří, výlevek, umývadel, sprch, vpustí a WC umístěných v kontrolovaném pásmu.

SK objektu zpevňování radioaktivních odpadů je rozdělena do tří samostatných celků sloužících k odvodu odpadních vod z kontrolovaného pásma budovy od dřezů, umyvadel, digestoří, vpustí ve sprchách a WC. Kritériem pro zavedení zdrojů odpadů do systémů speciální kanalizace je úroveň předpokládaného obsahu radionuklidů.

Odpadní vody z SK jsou vedeny do systému sběrných nádrží a zpracování odpadních vod a je začleněn do pomocných systémů primární části (provozní soubor 11). Komplexně celý systém slouží ke shromažďování a zpracování všech odpadních vod s cílem jejich separace a vyčištění od mechanických, chemických a radiochemických nečistot tak, aby je bylo možno znovu použít ve spotřebičích primárního okruhu nebo vypustit do venkovní kanalizace a nepoužitelné radioaktivní zbytky uložit v úložišti RAO.

9.3.3.3 Provoz systému

Během provozu bloku je manipulace s armaturami SK povolena pouze pracovníkům, kteří jsou proškoleni v příslušných provozních předpisech a vykonávají činnost v těchto prostorech na základě platného pracovního příkazu. Všeobecně platí zákaz manipulace neoprávněných osob s těmito armaturami.

Všechny uzavíratelné vpusti do SK musí být uzavřené. Otevření vpusti je možné pouze na dobu nezbytně nutnou pro vydrenážování odpadních vod. Všechna průhledítka a všechny čistící kusy na trasách SK musí být během provozu bloku uzavřené a zatěsněné.

Případná přítomnost vody (nastoupání vody na nastavenou hladinu) v místnostech s uzavíratelnou vpustí je snímána a signalizována systémem kontroly hladiny v kobkách. Sledování nátoků je průběžně prováděno ze společné dozorny.

Do SK je zakázáno vylévat nebo vypouštět jakékoliv oleje, barvy, ředidla, speciální čistící a odmašťovací prostředky, hořlaviny apod. Rovněž je zakázáno vylévání odpadních vod s hrubými mechanickými nečistotami a splachování mechanických nečistot do vpustí při sejmutých mřížkách. Pro likvidaci takovýchto odpadů se postupuje dle vnitřních předpisů jaderné elektrárny „Řád hospodaření s odpady“ a „Nakládání s odpady“.

Speciální kanalizace reaktorovny

SK v hermetickém prostoru slouží k odvodu odpadních vod z místností hermetického prostoru. Tento systém lze od hlavního sběrného kolektoru SK na vstupu do jímky odpadních vod HVB oddělit rychločinnými armaturami. Tyto armatury jsou během provozu bloku otevřené, zavírají se automaticky a jejich otevření je blokováno v případě, že nastanou v hermetickém prostoru podmínky stanovené pro jeho hermetické uzavření. V hermetickém neobslužném prostoru jsou všechny vpusti osazené pouze mřížkou, nelze je tedy uzavřít. V hermetickém poloobslužném prostoru jsou použité mřížky i uzavíratelné vpusti. Aby byly poloobslužné prostory v hermetickém prostoru oddělené od neobslužných prostorů, musí být při spouštění a provozu bloků uzavřené uzavíratelné vpusti, a u místností s mřížkou musí být uzavřené oddělovací ruční armatury. Pokud je nutné drenážovat shromážděnou vodu z některého z poloobslužných prostor, obsluha tento prostor opustí, uzavře hermetické dveře a vodu odpouští pomocí dálkového ručního ovládání uzavíratelných vpustí ze sousední místnosti, nebo ruční armaturou na příslušné trase SK.

SK nečistá slouží k odvodu odpadních vod z prostor s omezeným vstupem mimo hermetický prostor. Na systému nečisté SK nejsou uzavírací armatury, proto nelze žádnou z větví SK oddělit. Vpusti do SK jsou provedené jako mřížky, nebo jako uzavíratelné s místním nebo dálkovým ovládáním. Z důvodu zabránění průniku aktivních plynů, aerosolů a případně i toxických plynů trasami SK do místností na trase musí být během provozu bloku uzavíratelné vpusti uzavřené a mřížky musí být zaplněné vodou, aby zabudovaný hydrouzávěr plnil funkci. Ostatní odpady připojené na nečistou SK musí být z téhož důvodu opatřené hydrouzávěry. Během provozu bloku nejsou do nečisté SK žádné nátoky z technologického zařízení. Pokud je třeba provést drenážování nebo vypouštění odpadní vody do SK, musí příslušná obsluha informovat operátora společné dozorny o zvýšení nátoku. Ostatní nátoky do nečisté SK jsou dány provozem technologie (např. voda od ucpávek, odběrů vzorků apod.).

SK čistá slouží k odvodu odpadních vod z místností s neomezeným vstupem. Na systému čisté SK nejsou uzavírací armatury, proto nelze žádnou z větví SK oddělit.

Speciální kanalizace budovy pomocných aktivních provozů

Systém SK shromažďuje odpadní vody od jednotlivých podlahových vpustí, technologického zařízení a laboratorních zařízení. Každá větev má jedno společné potrubí, kterým jsou vody vedeny do jímacích nádrží.

V systému nečisté SK nejsou uzavírací armatury za účelem oddělení jednotlivých větví SK. Vpusti do SK jsou provedené jako mřížky, nebo jako uzavíratelné s místním nebo dálkovým ovládáním. Z důvodu zabránění průniku aktivních plynů, aerosolů a nebezpečných plynů trasami SK do místností na trase musí být během provozu bloku uzavíratelné vpusti uzavřené a mřížky musí být zaplněné vodou, aby zabudovaný hydrouzávěr plnil funkci. Ostatní odpady připojené na nečistou SK musí být z téhož důvodu opatřené hydrouzávěry. Na nečistou SK není přímo napojené žádné technologické zařízení. Během provozu bloku nejsou žádné nátoky z technologického zařízení. Pokud je třeba provést vydrenážování nebo vypuštění odpadní vody do SK musí příslušná obsluha informovat operátora o zvýšení nátoku. Ostatní nátoky do nečisté SK během provozu bloku jsou dány provozem technologie (např. voda od ucpávek, odběrem a zpracováním vzorků, drenáží apod.).

SK čistá slouží k odvodu odpadních vod z obsluhovaných místností. Během provozu bloku nejsou žádné nátoky z technologického zařízení. Pokud je třeba provést vydrenážování nebo vypuštění odpadní vody do SK musí příslušná obsluha informovat operátora. Ostatní nátoky do čisté SK během provozu bloku jsou dány provozem technologie (např. voda od ucpávek, drenáže, úklidy místností, použití umyvadel apod.).

Speciální kanalizace provozní budovy

SK provozní budovy je rozdělena do dvou samostatných systémů sloužících k odvodu vody z kontrolovaného pásma budovy. Jeden systém odvádí vody od digestoří, technologického zařízení (v provozní budově II rovněž ze speciální prádelny) a vpustí s pravděpodobností obsahu radionuklidů. Druhý systém odvádí vody především od laboratorních stolů, digestoří, výlevek, umývadel, sprch, vpustí a WC umístěných v kontrolovaném pásmu. Všechny odpadní vody z obou systémů jsou vedeny do uzlu nádrží odpadních vod v místnosti 016, kde je provedena radiochemická kontrola a podle výsledku jsou dále přečerpávány buď do systému zpracování odpadních vod v BAPP nebo do venkovní kanalizace (splaškové).

Speciální kanalizace ZRAO

Kritériem pro zavedení zdrojů odpadů do jednotlivých systémů SK ZRAO je úroveň předpokládaného obsahu radionuklidů. Jednotlivé stoupačky jsou v nejvyšším podlaží ukončeny zaslepovací přírubou sloužící zároveň jako čisticí kus. Další čisticí kusy jsou umístěny dle potřeby na ostatních podlažích. Odpojení nebo připojení koncového spotřebiče (digestoř, umyvadlo, dřez, apod.) na systém SK je podmíněno možností vstupu do daného prostoru.

Systém sběrných nádrží a zpracování odpadních vod

Celý systém pracuje v těchto normálních provozních režimech:

- režimu pohotovost (sběrné a skladovací nádrže odpadních jsou prázdné nebo částečně zaplněné příslušnými médii),
- režimu sběru odpadních vod,
- režimu skladování odpadních vod.

9.3.3.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Z hlediska koncepce bezpečného provozu jaderné elektrárny je systém SK zařazen do systémů souvisejících s jadernou bezpečností. Do seznamu zařízení dle vyhlášky SÚJB 132/2008 Sb. o systému jakosti jsou zařazeny hraniční rychločinné armatury na hranici hermetického prostoru – do BT2 (2f). Další zařízení (nádrže, čerpadla, potrubí, armatury) jsou zařazeny do BT3 (3j).

Technologie systému sběru a shromažďování vod SK je projektována jako neseizmická s vyjímkou rychločinných armatur na hranici hermetické zóny, které jsou zařazeny do seismické kategorie 1a.

Veškeré potrubní trasy systému jsou řešeny s požadavkem maximální těsnosti a životnosti, jsou nerezové a svařované.

Systém SK je v provozu při všech režimech bloku. Jeho úplné odstavení není možné. Dočasně se může odstavit určité zařízení, přičemž je nutné zpracovat speciální program, který obsahuje rozsah odstaveného zařízení, důvod odstavení, způsob náhradního řešení provozuschopnosti systému včetně časového omezení odstavení a bezpečnostních opatření.

9.3.3.5 Zhodnocení provozu systému

Vzhledem ke způsobu provedení systému SK, kdy většina horizontálních rozvodů je součástí nosné betonové konstrukce, není možné realizovat žádné závažnější změny. Menší změny (např. doplnění některých čisticích kusů, záměna některých čerpadel za vhodnější typy), byly v souladu s podnikovou legislativou doplněny do průvodní

dokumentace. U tohoto systému má spíše význam udržovat systém v trvale provozuschopném stavu bez možnosti provádět významnější změny na systému.

V intervalu 1x za 2 roky jsou na systému prováděny přetěsnění uzávěrů a vpustí v poloobslužných prostorech v souvislosti se zkouškou těsnosti těchto prostor. Zde je důležitý aspekt z hlediska radiační ochrany, aby nedocházelo k uvolňování radioaktivních látek ze SK do pracovního prostředí. Spolehlivost systému lze hodnotit jako vysokou a případné poruchy jsou odstraňovány s nejvyšší prioritou.

Na systému SK nebylo prováděno hodnocení zbytkové životnosti. Životnost je sledována technickými kontrolami a v rámci prováděných oprav a provozních zkoušek. Vzhledem k materiálu (nerez), ve kterém je systém realizován, žádné zkoušky neprokázaly degradaci materiálu, s výjimkou nevýznamných lokálních poruch. Dle těchto informací se předpokládá spolehlivý provoz systému po celou dobu provozu jaderné elektrárny. Současně musí být zajištěno, že systému bude i nadále věnována stejná pozornost z hlediska provozních kontrol, prohlídek a zkoušek.

9.3.3.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Systém plní projektové předpoklady, vykazuje dobré provozní výsledky, neprojevuje se u něj výrazný nárůst poruchovosti, je pravidelně kontrolován a splňuje všechny požadavky na spolehlivý provoz po dobu následujících 10 let. Na systém se nevztahují žádné speciální požadavky legislativy v oblasti jaderné bezpečnosti.

9.3.4 Systém stlačeného dusíku

9.3.4.1 Účel systému

Systém dusíku je rozdělen na systém nízkotlakého (NT) dusíku o tlaku 0,9 - 1 MPa a na systém vysokotlakého (VT) dusíku o tlaku 4,2 MPa.

Systém NT dusíku slouží pro vytěsňování radioaktivních plynů z nádrží a výměníků primárního okruhu, pro systém spalování vodíku, pro systémy vzduchotechniky, při údržbářských zásazích na chladicích jednotkách stanice zdroje chladu, pro profuk snímačů systému kontroly a řízení a pro profukování rozvodného potrubí vodíku a kyslíku v případě oprav.

Pro bezpečnostní systém hydroakumulátorů je určen systém VT dusíku. Dusík o přetlaku 3,5 MPa v nich slouží v hydroakumulátorech jako zdroj energie pro vytlačení roztoku kyseliny borité do reaktoru v případě havárie spojené s únikem chladiva.

VT dusík se rovněž používá pro udržení tlaku v kompenzátoru objemu při náběhu a odstavování bloku.

9.3.4.2 Koncepce projektového řešení systému

Dusíkové hospodářství je umístěno na prostranství mezi I. a II. HVB. Dusíkové hospodářství je společné pro všechny čtyři bloky EDU.

Jako zdroj plynného dusíku slouží zkapalněný dusík, skladovaný ve čtyřech vodorovných tlakových zásobnících. Zásobování dusíkového hospodářství se provádí autocisternami.

Ke zplynění dusíku dochází ve svislých odpařovačích odebíráním tepla atmosférickému vzduchu. Mezi dvojicemi ležatých zásobníků je umístěna strojovna VT kompresorové stanice dusíku pro zvyšování tlaku plynného dusíku z 0,9 - 1 MPa na 4,2 MPa. Kompresorová stanice je vybavena dvěma kompresory o výkonu 600 Nm^3/hod

9.3.4.3 Provoz systému

Systém dusíku zajišťuje následující provozní požadavky:

Pokrytí nepřetržitého odběru dusíku v reaktorovně, který kolísá dle způsobu provozu v reaktorovně od 9 do 106 Nm^3/hod.

Pokrytí občasného odběru dusíku v reaktorovně, který představuje množství max. 600 Nm^3/hod.

Rezerva pro najetí jednoho bloku (7260 Nm^3) a jednu rezervu množství potřebného pro konzervaci v případě nutného odstavení jednoho bloku (cca 3000 Nm^3).

Pracovní režim kompresorové stanice je uvažován tak, že při najíždění reaktoru bloku běží jeden kompresor cca 10 - 20 hodin a natlakuje dusíkový polštář hydroakumulátorů na požadovaný tlak 3,5 MPa.

Pro provoz VT kompresorové stanice dusíku musí být k dispozici pomocná média:

- technická voda důležitá pro mezistupňové chladiče dusíku a pro chladič oleje,
- NT stlačený vzduch pro ovládání pneuarmatury pro odlehčení kompresoru při rozběhu (bypas),
- mazací olej (každý kompresor má samostatné olejové hospodářství).

9.3.4.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Zařízení rozvodu vysokotlakého dusíku včetně zásobních nádrží VT dusíku o objemu 4 m^3 až k hydroakumulátorům byla podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. zařazena mezi vybraná zařízení a spadá do bezpečnostní třídy 2.

Udržením požadovaného tlaku dusíku nejméně 3,3 MPa v hydroakumulátoru (HA) je podmíněna funkčnost HA. V bezpečnostních rozborech je uvažována provozuschopnost pouze dvou HA ze čtyř. Z toho hlediska tedy činnost HA není ohrožena při poruchách systému VT dusíku.

9.3.4.5 Hodnocení provozu systému

V průběhu provozu EDU byly na zařízení systému dusíku provedeny modifikace, které převážně souvisí s vývojem požadavků na zvýšenou spolehlivost systému a s vyčerpáním životnosti některých zařízení (armatur).

Nejvýznamnějšími modifikacemi systému prováděnými v průběhu provozu jaderné elektrárny byly:

- instalace tkaninových filtrů do trasy VT dusíku k hydroakumulátorům a kompenzátoru objemu,
- záměna hlavních odpařovačů dusíku,
- záměna stávajících servopohonů v reaktorovně za nové moderní konstrukce.

Systém je pravidelně kontrolován a zkoušen, nevykazuje rostoucí nespolehlivost.

Systém provozních kontrol je uveden v provozních předpisech. Zkoušky a revize tlakových nádob stabilních se provádějí podle příslušné ČSN.

9.3.4.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Provoz systému dusíku je spolehlivý, plní projektovou funkci, je bezpečný a bez poruch, které by zásadně ovlivnily jeho provozuschopnost, a nevyžaduje žádné změny z hlediska dalšího provozu jaderné elektrárny Dukovany.

9.3.5 Systém skladování a rozvodu vodíku

9.3.5.1 Účel systému skladování a rozvodu vodíku

Zařízení vodíkového hospodářství zajišťuje dodávku vodíku o přetlaku 0,6 MPa pro vodíkové hospodářství jednotlivých turbogenerátorů 1. až 4. bloku EDU. Skládá se ze dvou základních částí a to z vlastního skladu vodíku a z potrubních rozvodů vodíku k turbogenerátorům do strojoven všech bloků.

9.3.5.2 Koncepce projektového řešení systému

Vodík je ve skladu vodíku skladován ve třech stabilních tlakových nádobách, které jsou tvořeny svazky devatenácti tlakových láhví. Jedna láhev má objem 525 litrů a max. pracovní přetlak 15 MPa.

Součástí skladu je centrální redukční stanice, kde se redukuje tlak vodíku z 14,5 MPa na 0,6 MPa.

Z centrální redukční stanice vede nízkotlaká část rozvodu vodíku o přetlaku 0,6 MPa k výrobním blokům do strojovny, kde je zakončena na jednotlivých plynových hospodářstvích generátorů.

Výstupní potrubí vodíku o přetlaku 0,6 MPa z redukčních stanic do příslušného HVB je vždy zdvojené zčásti uložené v kanálu a zčásti vedeno jako nadzemní potrubí v opláštění strojovny.

Tlakový vodík slouží v generátoru jako primární chladivo železa statoru a rotoru včetně vinutí rotoru. Proti úniku je těsněn těsnicím olejem.

9.3.5.3 Provoz systému

Plnění zásobníkové stanice je prováděno zaškolenými pracovníky externího dodavatele. Systém skladování a rozvodu vodíku zajišťuje následující provozní požadavky:

- Pokrytí běžné spotřeby vodíku 90 Nm^3/den.
- Sklad vodíku musí zajistit 10denní trvalý odběr běžné denní spotřeby pro 4 TG a musí obsahovat rezervu pro naplnění jednoho TG.
- Zásoba vodíku pro osm TG obou HVB byla stanovena ve výši min. 2 460 Nm^3.

Zařízení vodíkového hospodářství nevyžaduje stálou obsluhu, pouze pochůzkovou službu. Většina vodíku unikajícího z okruhu chlazení turbogenerátoru se odvádí výfuky nad střechu strojovny. Normální únik vodíku dosahuje hodnoty cca 12 Nm^3/den pro jeden stroj při normálním pracovním přetlaku.

9.3.5.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Z hlediska koncepce bezpečného provozu jaderné elektrárny není systém skladování a rozvodu vodíku zařazen mezi bezpečnostní systémy ani mezi systémy související s jadernou bezpečností.

Zařízení tohoto systému nepatří mezi vybraná zařízení dle vyhlášky SÚJB 132/2008 Sb.

Bezpečnostní riziko vodíku spočívá v tom, že se vzduchem nebo kyslíkem tvoří třaskavou směs.

V souladu s příslušnými normami jsou kolem každého turboalternátoru a kolem dalších zařízení pracujících s vodíkem stanoveny prostory se stupněm nebezpečí výbuchu (SNV) a ochranné prostory (OP).

Pro zjištění úniku vodíku jsou použity indikátory vodíku, které při zvýšené koncentraci vodíku v prostoru se SNV a v OP způsobí vypnutí přívodu proudu do jeřábu ve strojovně a osvětlení nad turboalternátorem.

Z hlediska možných následků hoření a exploze vodíku je možné konstatovat, že z pohledu jaderné bezpečnosti nedochází k přímému ohrožení vysokoenergetických potrubí ani vybraných zařízení dle vyhl. SÚJB č. 132/2008 Sb.

9.3.5.5 Hodnocení provozu systému

Spolehlivost systému skladování a rozvodu vodíku jako celku je na vysoké úrovni. V průběhu provozu EDU byla na zařízení systému skladování a rozvodu vodíku provedena modifikace, kdy původní bateriové automobilové návěsy pro přepravu a skladování byly nahrazeny stabilními svazky tlakových láhví trvale připojenými k rozvodu vodíku.

Těsnost systému je denně kontrolována.

Systém provozních kontrol je uveden v provozních předpisech.

9.3.5.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Systému skladování a rozvodu vodíku po provedené rekonstrukci nevykazuje žádné závažné nedostatky, které by ovlivňovaly jeho další provoz.

Systém plní projektovou funkci, je bezpečný, bez poruch a nevyžaduje žádné změny z hlediska dalšího provozu jaderné elektrárny Dukovany.

9.3.6 Diagnostický systém

Součástí technologie jaderné elektrárny Dukovany je také diagnostický systém. V souvislosti
s vývojem jaderné energetiky a otázek její bezpečnosti byl kladen důraz na další zdokonalení kontrolních procesů, sledování stavu a stárnutí materiálů a diagnostiku pomocných systémů. Tyto nedostatky byly identifikovány při mezinárodních kontrolních misích MAAE a partnerských prověrkách v rámci sdružení operátorů WANO a doporučení na rozšíření diagnostických systémů byly zahrnuty do koncepce a úprav diagnostického systému.

9.3.6.1 Účel systému

Hlavním účelem tohoto systému je kontrola zařízení primárního okruhu, s důrazem na sledování možných úniků z primárního okruhu (I.O) a monitorování volných částí uvnitř I.O.

V rámci modernizace bylo provedeno rozšíření monitorování volných částí v I.O. o další snímače na reaktorové nádobě a na parogenerátorech, doplnění monitorování vibrací parogenerátorů na zbývajících smyčkách I.O. na 1. bloku (sjednocení s ostatními bloky EDU), instalace systému monitorování chvění hlavních cirkulačních čerpadel a dále instalace systému pro diagnostiku turbogenerátorů. Všechny monitorovací diagnostické systémy na všech blocích byly přivedeny prostřednictvím počítačové sítě do společného, centralizovaného diagnostického pracoviště pro celou EDU 1-4.

9.3.6.2 Koncepce projektového řešení

Zařízení diagnostického systému jsou umístěna v příslušných dílčích provozních souborech elektrárny dle jejich určení a funkce. Signály z těchto monitorovacích míst jsou vyvedeny do společné blokové diagnostické dozorny. Bloková diagnostická dozorna je umístěna v podélné etažérce.

Součástí systému jsou monitorování a systémy:

Monitorování vibrací pomocí snímačů chvění

Systém pomocí snímačů monitoruje vibrace jednotlivých komponent primárního okruhu. Akcelerometry jsou umístěny víku reaktoru, na parogenerátorech, mezi hrdly tlakové nádoby reaktoru, na potrubí před hlavním cirkulačním čerpadlem (HCČ).

Systém pro sledování chvění HCČ

Systém HCČ je dále vybaven vlastním systémem diagnostiky. Soustrojí HCČ jsou osazena osmi akcelerometry. Na motoru je umístěno pět snímačů, po dvou na horním a dolním ložisku motoru plus axiálně v úrovni dolního ložiska motoru. Na čerpadle je dvojice snímačů na horním axiálně-radiálním ložisku čerpadla.

Monitorování vibrací vnitřní vestavby reaktoru

Systém pro monitorování vibrací vnitřní vestavby reaktoru získává data z vnějších ionizačních komor původního řidicího systému reaktoru (neutronové šumy). Signál z těchto komor odpovídá neutronovému toku v reaktoru a z malých fluktuací tohoto toku lze detekovat a vyhodnocovat kmitání aktivní zóny reaktoru.

Systém pro diagnostiku turbogenerátoru

Turbogenerátor je komplexní dynamický systém. Jsou měřeny vibrace na různých místech soustrojí. Např. měření vibrací ložiskových stojanů, měření rotorového chvění atd.

Systém pro sledování volných částí

Diagnostický systém monitorování volných částí je určený na monitorování, lokalizaci a odhad hmotnosti (kinetické energie) volných částí (např. kovových úlomků), které by se mohly vyskytnout v primárním okruhu jaderné elektrárny.

Takovéto volné části jsou unášené chladícím médiem a při svém pohybu narážejí na vnitřní stěny tlakovodních zařízení (např. primární potrubí, hydraulická část hlavních cirkulačních čerpadel, stěny tlakové nádoby reaktoru). Při nárazu vznikne ve stěně technologického zařízení napěťová vlna, která se šíří od místa nárazu k instalovaným piezoelektrickým snímačům zrychlení, kde dochází ke zpracování tohoto vzruchu a následnému zpracování signálu ve vyhodnocovacím zařízení.

9.3.6.3 Provozní režim

Celý systém případně jeho podsystémy pracují v nepřetržitém nebo periodickém režimu.

V nepřetržitém režimu například pracuje digitální jednotka pro záznam rázů, která při každém překročení své nastavené meze zaznamená kanál, v němž došlo k překročení spolu s blízkými kanály na cirkulační smyčce.

Periodická diagnostika slouží k odhalení dlouhodobě se vyvíjejících změn v technologických zařízeních, které se projevují relativně pomalými změnami v diagnostických signálech. V rámci činnosti oddělení diagnostiky jsou sledována různá technologická zařízení EDU.

9.3.6.4 Připravenost systému na další provoz

Elektronické komponenty původních systémů jsou již na hranici své životnosti, neboť jsou v provozu od roku 1985 a jsou postupně nahrazovány moderními digitálními přístroji. Nejvíce morálně zastaralé je nastavování a ladění detektorů pomocí odporových potenciometrů, které vzhledem k omezené mechanické životnosti jsou rovněž průběžně nahrazovány za moderní digitální přístroje. Byly zaznamenány také poruchy napájecích bloků v důsledku postupného dožití elektrolytických kondenzátorů. Důvodem postupující náhrady je mimo morální zastaralost a fyzické dožívání části komponent i obtížnější obstarávání náhradních dílů pro původní diagnostické systémy resp. jejich doposud nenahrazené části.

U nově instalovaných systémů pro sledování a vyhodnocování volných částí a systému sledování vibrací HCČ jsou hardwareové poruchy spíše vyjímečné. V softwérové části probíhá průběžné dolaďování uživatelských programů tak, aby vyhovovaly podmínkám obsluhy a aby zajistily přenositelnost diagnostických informací na další pracoviště elektrárny.

Další chod diagnostického systému bude podmíněn úplnou obměnou elektronických částí původních a nejstarších systémů. Důsledné revizi bude podroben stav kabeláže a hermetických průchodek, neboť závady v těchto oblastech mohou být příčinou nežádoucího rušivého signálu, který může ovlivňovat přenos analogových signálů a ztěžovat jejich vyhodnocování. Další možností je potom digitalizace přenášeného signálu, co nejblíže u zdroje. Digitalizace však na druhé straně omezuje škálu analytických možností při analýze signálů.

9.3.7 Speciální prádelna

9.3.7.1 Účel systému

Speciální prádelna je v provozu v objektu Provozní budovy II (v provozní budově I je od r. 2011 mimo provoz).

Z hlediska radiační ochrany plní systém speciální prádelny (včetně sběrných nádrží odpadních vod) dvě významné funkce:

- dekontaminace ochranných oděvů a osobních ochranných prostředků,
- zajištění sběru, třídění a řízeného vypouštění odpadních voda vznikajících při provozu speciální prádelny.

Hlavními činnostmi speciální prádelny jsou:

- sběr, skladování a třídění prádla, ochranných oděvů a osobních ochranných pomůcek a prostředků (OOPP) z kontrolovaného pásma jaderné elektrárny,
- praní prádla a ochranných oděvů,
- dekontaminaci OOPP,
- drobné opravy prádla a ochranných oděvů v kontrolovaném pásmu.

9.3.7.2 Koncepce projektového řešení

Speciální prádelna

Speciální prádelna je umístěna v kontrolovaném pásmu (KP) na podlaží 0,0 m provozní budovy (Provozní budova II) - obj. č. 803/1-02. Je rozdělena na 2 oddělení:

a) Oddělení prádla a oděvů z KP I. kategorie

- povrchová kontaminace < 0,3 Bq/cm^2

b) Oddělení prádla a oděvů z KP II. kategorie

- povrchová kontaminace > 0,3 Bq/cm2

Speciální prádelna je vybavena následujícím technologickým zařízením:

- Hygienické pračky HM 900 (jsou určeny pro praní nekontaminovaného prádla a pracovních oděvů z KP a jsou osazeny v mezistěně místností z důvodu oddělení KP).
- Bubnové sušiče DR 80 (jsou určeny k předsoušení a sušení vypraného a vyždímaného prádla, umístěny jsou v blízkosti vyjímání vypraného prádla na čisté straně praček).
- Karuselové lisy KP 516 (slouží zejména k žehlení spodního prádla a jsou umístěny v žehlírně).
- Pračky Whirlpool AWOE 8759 (slouží jednak pro praní kontaminovaného prádla, jednak pro praní nekontaminovaného prádla se zvláštními požadavky na čistotu).
- Ultrazvuková dekontaminační vana K50 (slouží pro dekontaminaci ochranných pomůcek, jako např. ochranných masek, předmětů z kovů a plastů, skládá se ze dvou základních částí - ultrazvukového generátoru a vany s upevněnými ultrazvukovými piezoelektrickými měniči).

- Monitor kontaminace prádla LCM-300 (je určen ke kontrole souhrnné beta + gama kontaminace vypraného prádla (kombinézy, trenýrky, nátělníky).

Pro průběžnou kontrolu dávkového příkonu gama je ve speciální prádelně umístěn citlivý monitor MDG-02. Pro kontrolu kontaminace obsluhujícího personálu je instalován monitor kontaminace rukou a nohou SKRN-01.

Nádrže odpadních vod

Systém nádrží odpadních vod plní funkce sběru, třídění a kontrolovaného vypouštění odpadních vod z provozní budovy. Shromažďují se zde odpadní vody z laboratoří, hygienických smyček a speciální prádelny. Nádrže jsou umístěny v KP v suterénu provozní budovy na podlaží - 5,7 m.

9.3.7.3 Provoz systému

Normální provoz speciální prádelny zahrnuje příjem a třídění prádla roztříděného v hygienických smyčkách EDU 1-4 dle kontaminace v souladu s Monitorovacím programem radiační ochrany (RO), praní špinavého prádla, sušení a žehlení, dekontaminaci drobných OOPP, likvidaci radioaktivních odpadů (RAO). Kapalné odpady jsou vypouštěny trasou SK do kontrolních nádrží PB a následně zpracovávány v systému zpracování kapalných odpadů. Pevné RAO vznikající při provozu a údržbě zařízení jsou soustřeďovány v PE pytlích a následně transportovány do BAPP v souladu s ustanoveními platných dokumentů oddělení odpadů a dekontaminace.

Normální provoz systému nádrží odpadních vod může probíhat buď v nastaveném automatickém režimu, nebo režimu ručním. Volba režimu plnění se provádí přepínači na ovládacím panelu systému kontroly a řízení.

9.3.7.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Technologická zařízení speciální prádelny nejsou zařazena mezi vybraná zařízení. Nejsou předepsány pravidelné kontroly a zkoušky technologického zařízení.

Technologie systému je projektována jako neseizmická.

Speciální prádelna plní zejména požadavky z hlediska radiační ochrany personálu a vlivu na životní prostředí.

9.3.7.5 Zhodnocení provozu systému

Technologické zařízení speciální prádelny v Provozní budově II pracuje spolehlivě. Vyskytly se ojedinělé závady u hygienických praček HM 900, které byly řešeny ve spolupráci s výrobcem.

Systém nádrží odpadních vod pracuje spolehlivě, nedošlo k úniku radioaktivních látek do pracovního prostředí ani do okolí.

Systém nemá stanovenu výrobcem garantovanou životnost. Je hodnocena na základě četnosti poruch sledovaných přes uplatněné pracovní příkazy.

Zařízení speciální prádelny v Provozní budově I je mimo provoz.

9.3.7.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

V září 2011 byla ukončena realizace rekonstrukce speciální prádelny v Provozní budově II. Od ukončení realizace tohoto projektu je k praní prádla využívána pouze tato prádelna. Systém splňuje všechny požadavky na spolehlivý provoz po dobu následujících 10 let.

Technologické zařízení speciální prádelny v Provozní budově I je morálně a technicky zastaralé, vyžaduje zásadní modernizaci, bylo proto odstaveno z provozu a bude demontováno.

9.3.8 Systém dekontaminace

9.3.8.1 Účel systému

Systémy dekontaminace zajišťují snížení vnitřních a vnějších povrchových kontaminací technologických zařízení, stavebních povrchů, a to zejména v následujících případech:

- před prováděním revizí a oprav zařízení přímo na místě,
- před demontáží kontaminovaných technologických zařízení a jejich transportem k dekontaminačnímu uzlu,
- před prováděním revizí a oprav v aktivních dílnách,
- při kontaminaci zařízení a stavebních povrchů po úniku radioaktivních látek ze zařízení v důsledku netěsností,
- v případě vyřazení kontaminovaného zařízení v důsledku poruchy nebo opotřebování před transportem na úložiště, je-li to z hlediska očekávaného výsledku účelné.

Z popsaných funkcí systému vyplývá, že je využíván zejména v době odstávek bloku, kdy jsou na něj kladeny největší nároky. Některá zařízení dekontaminačního systému jsou bloková a jsou navržena pro potřeby každého bloku. Jedná se o uzel dekontaminace lineárních krokových pohonů (LKP) a rozvody dekontaminačních roztoků v HVB. Některá zařízení jsou společná pro oba bloky jaderné elektrárny, jedná se o uzel přípravy dekontaminačních roztoků, speciální dekontaminační přípravky určené k dekontaminaci komponent primárního okruhu, dekontaminace velkých a drobných zařízení a mobilní dekontaminační prostředky. Systém dekontaminace je tedy situován ve všech objektech jaderné elektrárny, kde je vymezeno kontrolované pásmo.

9.3.8.2 Koncepce projektového řešení

Podle funkce lze systémy dekontaminace v jaderné elektrárně rozdělit na následující části:

- Příprava a ohřev dekontaminačních roztoků a demi vody v BAPP.
- Dekontaminace lineárních krokových pohonů v HVB.
- Dekontaminace zařízení ostřikem a rozvod dekontaminačních roztoků v HVB.
- Speciální dekontaminační prostředky pro dekontaminaci komponent primárního okruhu (např. DEKOZ PG-IN, DEKOZ HCČ, DEKOZ HUA-S, DEKOZ-P).
- Dekontaminace technologických zařízení v dekontaminačních uzlech.
- Rozvod dekontaminačních roztoků v BAPP.

Dekontaminační systém využívá různých dekontaminačních metod (technologií):

- chemické dekontaminace „in situ“ (na místě) a v dekontaminačních vanách,
- elektrochemické dekontaminace „in situ“ (na místě) a v dekontaminačních vanách,
- polosuché elektrochemické dekontaminace,
- dekontaminace s použitím ultrazvuku,
- dekontaminace vysokotlakým ostřikem (vodním nebo parním),
- dekontaminace gelová a pěnová,
- dekontaminace oplachem,
- mechanická dekontaminace (zejména otěrem).

Dekontaminační postupy a zařízení navržené a schválené pro použití v provozu jaderné elektrárny byly vybrány se zaměřením na optimalizaci procesu dekontaminace z hlediska minimalizace korozního narušení dekontaminovaného povrchu, vznikajících RAO a ohrožení personálu při prováděných pracích. Dekontaminační faktory jednotlivých

dekontaminačních technologií se pohybují v rozmezí hodnot 10-100, v elektrolytických dekontaminačních vanách až 1000.

Zdrojem aktivity vstupující do systému dekontaminace jsou vnitřní a vnější povrchy technologických zařízení, povrchy stavebních konstrukcí a místností. Úroveň kontaminace závisí na úrovni aktivity média, se kterým přichází povrch do styku. Proto nejvyšší kontaminace budou u vnitřních povrchů komponent a systémů primárního okruhu a pomocných systémů primárního okruhu.

Kontaminace odstraněná z vnitřních a vnějších povrchů technologických zařízení, povrchů stavebních konstrukcí a místností je jako kapalný RAO odvedena do nádrží speciální kanalizace (SK) nebo jako pevný odpad k dalšímu zpracování.

9.3.8.3 Provoz systému

Provozní režimy technologického systému dekontaminace odpovídají potřebám a cílům na tento systém kladeným. Nejedná se o automatizované procesy, ale o procesy většinou řízené obsluhou z místa využívající pomocné ovládací panely a místní ovládací štíty. Na tato ovládací místa jsou rovněž umístěny potřebné výstupy měření, signalizace a ovládání akčních členů.

Provozní režimy uvedené pro jednotlivé dekontaminační uzly se vztahují zejména na nejběžnější případ - dekontaminaci nerezového austenitického materiálu, vystaveného účinkům chladiva primárního okruhu, tj. dvojstupňový dekontaminační proces:

1) působení alkalického dekontaminačního roztoku

   $T \leq 95$ °C, t = 90 min.

2) oplach vodou vlastní spotřeby

   $T \leq 95$ °C, t = 15 minut.

3) působení kyselého dekontaminačního roztoku

   $T \leq 95$ °C, t = 90 minut.

4) oplach vodou vlastní spotřeby

   $T \leq 95$ °C, t = 15 minut.

V odůvodněných případech lze pro dosažení vyššího dekontaminačního faktoru uvedený dekontaminační proces opakovat.

Pro jiné materiály, resp. odlišný způsob kontaminace je provozní režim upravován dle pokynu odpovědného pracovníka oddělení dekontaminace.

9.3.8.4 Bezpečnostní požadavky na systém

Systém dekontaminace přímo neovlivňuje jaderný blok, není z hlediska koncepce bezpečného provozu EDU klasifikován jako bezpečnostní systém, ani jako systém s bezpečností související. Zařízení systému dekontaminace nejsou zařazena do kategorie zařízení s požadavky na seizmickou odolnost. Jeho posláním je snížit dekontaminací radiační zátěže pracovníků při provádění provozních, údržbářských a kontrolních činností. Ochrana spočívá v odstranění kontaminace z povrchu komponent technologických zařízení a stavebních objektů, aby se vyloučilo další působení na personál.

Z hlediska radiační ochrany jsou významné následující funkce:

- snížení (vyloučení) rizika externího ozáření personálu,
- snížení (vyloučení) povrchové, resp. vnitřní kontaminace personálu,
- snížení množství pevných RAO dekontaminací.

Technologická zařízení (s výjimkou některých hraničních armatur navazujících na bezpečnostní systémy nebo systémy související s bezpečností) nejsou zařazena mezi vybraná zařízení.

Povrchy technologických zařízení přicházející do styku s dekontaminovaným zařízením a dekontaminačními roztoky jsou vyrobeny z nerezových materiálů.

Systém nemá stanovenu výrobcem garantovanou životnost. Je hodnocena na základě četnosti poruch sledovaných přes uplatněné pracovní příkazy.

9.3.8.5 Zhodnocení provozu systému

Při řešení systému dekontaminace byl požadavek na minimalizaci produkovaného RAO, proto jsou v provozu realizována některá opatření vedoucí ke snížení množství vznikajících kapalných RAO:

- Dle možností jsou omezeny metody chemické dekontaminace (používají se pouze v případech, kdy není možná jiná technologie). Při těchto metodách vznikají nezanedbatelné objemy radioaktivních kapalných roztoků, které je nutno zpracovat až ke konečnému uložení jako RAO.
- Jsou navrženy chemické postupy, kde je minimalizována koncentrace roztoků.
- Jsou použity metody elektrochemické vanové dekontaminace a polosuché elektrochemické dekontaminace, které při vysoké účinnosti postupu a optimální koncentraci elektrolytu vedou ke snížení množství RAO.
- Některé dekontaminace ostřikem jsou nahrazeny dekontaminací gely a pěnami, kdy nevznikají tak velké objemy RAO.

Použití těchto metod, zejména použití chemických roztoků o nízkých koncentracích vedly ke snížení tvorby sekundárních RAO.

Protože systém dekontaminace pracuje s radioaktivními médii, jsou zařízení a potrubní trasy řešeny s ohledem na požadavek minimalizace úniků do okolního prostoru. Dále jsou použity vlnovcové armatury a svarové spoje mezi prvky (nikoli příruby). Přepady dekontaminačních van jsou zavedeny do SK. Místnosti dekontaminačních van jsou opatřeny nerezovou vystýlkou s podlahou spádovanou ke vpustu do SK. Z důvodu minimalizace úniku aerosolů do okolního prostředí jsou dekontaminační vany při dekontaminaci uzavřeny víky a jsou opatřeny odsáváním do speciální vzduchotechniky s filtrací. Pro ochranu personálu před přímým stykem s radioaktivními médii jsou k dispozici respirátory, ochranné obleky a skafandry a další ochranné pomůcky (rukavice, návleky apod.).

V pracovních prostorech je zabezpečována kontrola prostředí, tj. dávkových příkonů, objemových aktivit aerosolů, měrných aktivit médií a kontaminace povrchů. Tyto kontroly jsou zajišťovány centralizovaným systémem dálkových měření, přenosnými přístroji radiační kontroly, odběry a měřeními vzorků médií, filtrů, otěrů apod. vyhodnocovanými v radiochemických laboratořích, resp. v laboratořích radiační kontroly. Dále je zabezpečována kontrola technologických okruhů z důvodu zajištění sledování stavu ochranných bariér (tj. pro kontrolu případného narušení těsnosti) nebo pro kontrolu parametrů technologického procesu.

Při zhodnocení celkové radiační situace z pohledu ohrožení obsluhy jsou potencionálně nebezpečné činnosti při demontážích a dekontaminacích komponent primárního okruhu v HVB a při manipulaci s kontaminovanými zařízeními v uzlech dekontaminace, kdy by mohlo dojít k inhalaci radioaktivních aerosolů a ke kontaminaci pokožky ve styku s kontaminovaným povrchem zařízení. Proto jsou v provozu k dispozici ochranné obleky, skafandry, respirátory a ochranné pomůcky. V případě kontaminace skafandrů, ochranných obleků a pomůcek jsou k dispozici hygienické smyčky se sprchou, kde je možné odložení kontaminovaných předmětů a provedení dekontaminace otěrem a osprchováním. Provoz dekontaminace z hlediska osobní radiační kontroly je sledován a řízen tak, aby nedošlo u pracovního personálu k překročení povolených ročních limitů.

S výjimkou ohříváků dekontaminačních roztoků (tlakové nádoby stabilní) nejsou předepsány pravidelné kontroly a revize technologického zařízení. Provozuschopnost zařízení je zajišťována v rámci preventivní údržby.

V důsledku stárnutí systému byl zaznamenán mírný nárůst četnosti výskytu poruch na potrubních rozvodech topné páry a parního kondenzátu. Tyto poruchy nemají vliv na jaderný blok, radiační ochranu ani neovlivňují bezpečnost práce.

9.3.8.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Systém dekontaminace plní základní funkce na něj kladené. Je předpoklad, že je bude plnit i po dobu následujících 10 let se splněním následujícího:

a) Postupné provedení výměny potrubních tras topné páry a tras odvodu kondenzátu od dekontaminačních uzlů.
b) Doplňování zařízení o nové technologie dekontaminace, které umožní snížit kontaminaci na úroveň přijatelnou pro životní prostředí (elektrochemie, ultrazvuk, eventuálně abrazivní metody dekontaminace).

Minimalizace tvorby kapalných odpadů - je žádoucí zajistit recyklaci dekontaminačních roztoků, popř. přechod na nízko koncentrované dekontaminační roztoky (v roce 2006 byla přijata opatření a zapracována do dokumentace na použití dekontaminačních roztoků o nižší koncentraci chemikálií).

9.4 Systémy klimatizace, vytápění, chlazení a ventilace

9.4.1 Účel systému

Vzduchotechnické systémy (VZT) zajišťují vnitřní mikroklimatické parametry z hlediska hygienických požadavků pro personál a z hlediska zajištění pracovního prostředí pro technologická zařízení. Návrh vzduchotechnických systémů odpovídá funkčnímu účelu větraných prostor.

V dozornách s obsluhou je zajištěn přívod hygienické dávky čerstvého vzduchu, odvod tepelné zátěže od technologického zařízení SKŘ a zajištění vnitřní relativní vlhkosti ve stanovených mezích. Pro provozní (blokovou) dozornu je v případě radiační události navržen vzduchotechnický systém s filtrací přiváděného vzduchu.

V prostorech s výskytem radioaktivních látek (RAL) jsou VZT systémy vždy navrženy s prouděním vzduchu z míst o nižší aktivitě do míst s vyšší aktivitou. Tím je zabráněno nežádoucímu rozptylu radionuklidů. Na odvodech vzduchu do ventilačního komína jsou osazeny filtry se záchytem radioaktivních aerosolů a jódu.

Vzduchotechnické systémy hermetické zóny (HZ) uvnitř kontejnmentu jsou navrženy na dodržení podtlaku větraných prostor, udržení čistoty a odvod tepelné zátěže. Odváděný vzduch je filtrován se záchytem radioaktivních aerosolů a izotopů jódu včetně jeho sloučenin.

9.4.2 Koncepce projektového řešení systému

9.4.2.1 Ventilační systémy dozoren

Bloková a nouzová dozorna jsou umístěny na podlaží +9,60 m v příčné etažérce obj. 806/1-01. V případě neobyvatelnosti blokové dozorny se obsluha přesune do dozorny nouzové, z které je možné bezpečně odstavit a dochladit reaktor.

Pro každou dozornu je navržen samostatný vzduchotechnický systém, který umožňuje zajistit požadované vnitřní parametry teploty a vlhkosti prostředí dozoren dle nařízení vlády ČR č.178/2001 Sb. pro druh práce I. Součástí vzduchotechnického systému dozoren jsou také nouzové cirkulační chladicí jednotky s kondenzačními jednotkami, které udržují teplotu v operativní části dozorny na úrovni max. +34 °C.

Při přítomnosti radioaktivních aerosolů nebo izotopů jódu v prostoru EDU je vzduchotechnika blokových dozoren (BD) vybavena nouzovou filtrační jednotkou pro filtraci přiváděného vzduchu. VZT systém pro nouzovou dozornu (ND) toto zařízení nemá. Toto však vyhovuje pro všechny případy postulovaných nehod založených do projektu elektrárny. Konfiguraci vzduchotechnických systémů pro blokovou dozornu lze

přeměnit z „cirkulační“ na „filtroventilační“ a tak dosáhnout přetlak v dozorně o velikosti 20 Pa. Při vzniku požáru v podlaží pod dozornou nebo ve vnějším prostředí (mimo prostor nasávání vzduchu) lze tímto způsobem částečně bránit průniku kouře do prostoru blokové dozorny.

Současně umožňují VZT systémy izolaci přívodu a odvodu vzduchu do BD i ND, s automatickými plynotěsnými uzávěry. Systémy jsou doplněny kouřovými čidly a detektory RAL. Plynové uzávěry i kouřová čidla jsou napájeny z I. kategorie el. napájení.

9.4.2.2 Ventilační systémy bazénu vyhořelého paliva

Bazén skladování (BS) s vyhořelým palivem (VP), který je umístěný v RS, je potenciálním zdrojem kontaminace, přičemž RS patří mezi obsluhované prostory a je proto přístupný ve všech provozních režimech RB. V souladu s podmínkou a1 §44 výnosu č. 2 ČSKAE ze 30.11.1978 (podobně též ve vyhlášce SÚJB č.195/1999 Sb.) je zabezpečeno trvalé odsávání vzduchu z hladiny v BS VP a filtračními systémy zajištěno zabránění rozptylu a nekontrolovatelnému úniku radionuklidů do prostor JZ.

VZT systém BS VP (TL72) patří do vzduchotěsné zóny. Zajišťuje proudění vzduchu z míst o nižší aktivitě do prostoru s vyšší aktivitou a tím zabraňuje rozptylu radionuklidů do RS. Na odsávání vzduchu jsou instalovány filtry, které jsou schopny zabránit postupu radioaktivních aerosolů do ventilačního komína. Jodový filtr do systému zabudován není, poněvadž přítomnost jódu nebyla detekována při analýze RA materiálu ze vzduchu, pocházejícího z prostoru BS VP.

Kromě BS VP odsává systém vzduch také přímo z reaktorového sálu (RS) a u lichého reaktorového bloku (RB) též z uzlu skladování čerstvého paliva (ČP). VZT systém obsahuje pracovní a záložní odvodní ventilátory. Ventilátory jsou napájené ze systému nezajištěného el. napájení III. kategorie.

Přívod vzduchu do hlavního výrobního bloku (HVB) je VZT systémem TL42. Samostatný provoz přívodního systému TL42 není možný bez spuštěného odsávání pomocí TL72.

9.4.2.3 Ventilační systémy BAPP

V budově pomocných aktivních provozů (BAPP) je uvažováno s potenciálním únikem radionuklidů mimo skladovací nádrže. Podtlak v místnostech udržují odsávací systémy. Směr proudění vzduchu se trvale udržuje z míst s nižší aktivitou do prostorů s vyšší aktivitou. Provedení zabezpečuje nepřetržité proudění vzduchu z prostorů obsluhy do místností bez trvalé obsluhy.

Hlavní odvodní VZT systém BAPP (0TL90) je navržen k odvětrání kobek s nádržemi, se schopností záchytu radioaktivních aerosolů a úniku radionuklidů při havarijním roztržení nádrže radioaktivního koncentrátu nebo sorbentu. Filtrační zařízení 0TL90 je opatřeno trojicí filtračních linek ve složení aerosolový předfiltr a aerosolový vysoceúčinný filtr. Odpadní vzduch je odveden do VK.

V kontrolní jímce skladovací nádrže kapalných RaO je monitorována úroveň hladiny. Při zvýšení hladiny nad přípustnou mez dojde k automatickému uzavření pneumatického uzávěru na odvodní větvi systému 0TL90. Uzavřením odvodu vzduchu dojde ke zvýšení tlaku v kobce a tím i k uzavření vstupní přetlaková klapka KID. Tak dojde k úplnému oddělení postižené kobky po VZT trase a zabránění okamžitého přetížení aerosolových filtrů systému 0TL90.

Odvodní systém pro hydrazino-čpavkové hospodářství (0TL91), odvodní systém místností dozorny a SKŘ (0TL92) a odvodní systém digestoří (0TL94) odvádějí vzduch z místností, kde nehrozí riziko úniku radionuklidů. Odváděný vzduch těchto systémů není filtrován.

Přívod vzduchu BAPP je VZT systémy TL60, TL61, TL63. V přívodních jednotkách je vzduch filtrován a teplota přívodního vzduchu je upravena na žádané hodnoty pro zimní

i letní období. Systém TL63 přivádí vzduch k přípojkám pro skafandry. Sání vzduchu je z výtlaku upraveného přívodního vzduchu systému TL60 a přes aerosolový filtr jej tlačí k přípojkám pro skafandry.

9.4.2.4 Ventilační systémy strojovny

Parní turbína je součástí sekundárního okruhu EDU, strojovna turbín je objekt bez možnosti výskytu aktivity.

Větrání a odvod tepla prostoru strojovny je řešeno aeračním větráním. Pro odvod tepelné zátěže od technologického zařízení je navrženo nucené větrání. Dále je ve strojovně navržen VZT systém pro odvod tepla, kouře a zplodin hoření pomocí požárních klapek COLT.

Aerační větrání prosotru objektu strojovny je navrženo s přívodem vzduchu z aeračního kanálu na podlaží -5,5 m, s ručně uzavíratelnými žaluziemi pro možnost zamezení proudění vzduchu v zimním období. Uzavíratelná okna ve stěně strojovny a okna světlíku na střeše strojovny jsou ovládána ručně s pneumatickým pohonem. Teplota vzduchu ve strojovně se reguluje velikostí otevřené větrací plochy. Pro přirozené větrání strojovny je také možno použít požární klapky COLT, navržené pro odvod kouře a tepla.

Klapky COLT jsou umístěny ve světlíku na střeše strojovny. Ovládání klapek je pneumatické na základě ručního impulsu na požárním přepínači nebo automaticky od EPS. Pracovním médiem pro ovládání zařízení COLT je sušený tlakový vzduch. Jako zdroj vzduchu je na podlaží ±0,0 m strojovny instalován vzdušník. Přívod vzduchu při spuštění zařízení odvodu kouře a tepla je zajištěn obsluhou otevřením oken na kótě +9,6 m.

K nucenému větrání olejového hospodářství na podlaží 5,5 m je navržena VZT jednotka s filtrací a ohřevem přívodního vzduchu v zimním období. Pracovním médiem ohřívače je topná voda.

Pro chlazení místnosti buzení generátoru jsou určeny automatické cirkulační kompresorové jednotky ve složení: vnitřní výparníková jednotka, vnější kondenzační jednotka. Teplý vzduch je klimajednotkou nasáván, upravován na požadovanou teplotu 25 ± 5 °C. Odsávání vzduchu zajišťují ventilátory FALAX.

Místnost vývodů z TG (zapouzdřených vodičů) je větrána dvojicí axiálních ventilátorů s přívodem a odvodem vzduchu. Přívod chladného vzduchu je přes filtr z podlaží -5,5 m, odvodní vzduch je odveden do prostoru strojovny. Ventilátory pracují bez rezervy.

9.4.2.5 Ventilační systémy místností bezpečnostních systémů

Elektrické bezpečnostní systémy jsou umístěny v místnostech objektů příčné a podélné etažérky.

Úkolem VZT je odvod vyzářeného tepla od technologického zařízení a zajištění vnitřní teploty v místnostech tak, aby byla řádně splněna bezpečnostní funkce elektrických systémů a systémů SKŘ. Ve specifických místnostech SKŘ je upravena vnitřní relativní vlhkost vzduchu. V místnostech vývinu škodlivin (např. vývinu vodíku při nabíjení akubaterií) jsou tyto škodliviny odvedeny z objektu etažérek do venkovního prostoru.

Návrh VZT systémů respektuje divizní (systémové) dělení zařízení tak, aby byla zajištěna funkce technologického zařízení z hlediska jaderné bezpečnosti.

Na průchodech mezi jednotlivými požárními úseky jsou instalovány požární klapky pro omezení šíření požáru. Požární klapky jsou vybaveny koncovými spínači. Ovládání klapek je od EPS a tepelné pojistky.

Větrání rozvoden a kabelových prostorů

I. systém: PřE na podl. -3,6 m a ±0,0 m; přívodní systém P-x01; odsávací systém O-x01

II. systém: PoE na ±0,00 m a +5,4 m; VZT systém P-x41
III. systém: PoE na ±0,00 m a +5,4 m; VZT systém P-x61
IV. systém: PřE na -3,6 m a ±0,0 m; přívodní systém P-x02; odsávací systém O-x02

Přívodní jednotky I. systému jsou navrženy s chlazením v letním období, teplota přívodního vzduchu v zimním období není upravována. Odvodní systémy nasávají vzduch z rozvoden a odvádějí jej axiálními ventilátory do chodeb a odtud přetlakem přes žaluzie mimo objekt do venkovního prostředí. Větrané prostory jsou udržovány v přetlaku vůči okolnímu prostředí.

V případech výpadku stanice zdroje chladu resp. chlazené vody je pro zajištění nouzového chlazení rozvodny I. systému se střídačem instalována přímo v rozvodně nouzová cirkulační chladicí jednotka (NCHJ) xUW301D25.

Rozvodny II. a III. systému jsou provětrávány pouze čerstvým vzduchem. Rozvodny jsou udržovány v přetlaku vůči okolnímu prostředí. Oteplený vzduch je odváděn přes chodbu do strojovny HVB.

Koncepční řešení větrání kabelových prostor a rozvoden IV. systému je shodné s řešením větrání kabelových prostor a rozvoden I. systému s tím rozdílem, že rozvodny IV. systému nejsou vybaveny NCHJ a zařízení systémů P-x02, O-x02 nemají ZN z el. systému II. kategorie.

Větrání prostorů akubaterií

I. systém: PřE na podl. ±0,0 m; přívodní systém P-x06; odsávací systém O-x06
II. systém: PoE na podl. ±0,0 m; přívodní systém P-x43; odsávací systém O-x43
III. systém: PoE na podl. ±0,0 m; přívodní systém P-x63; odsávací systém O-x63
IV. systém: přístavek PřE; přívodní systém P-x81; odsávací systém O-x81,
PřE na podl. ±0,0 m; odsávací systém O-x08

VZT systémy zajišťují větrání prostorů akumulátoroven a dodržení vnitřní teploty místností na hodnotě +16 °C (minimální teplota v místnostech s akubateriemi je +10 °C). Ve větraných místnostech je udržován podtlak vůči okolnímu prostředí.

Přívodní jednotky systému P-x06, P-x81 jsou navrženy s chlazením pro letní období a ohřevem přívodního vzduchu v zimním období. Přívodní jednotky systému P-x43, P-x63 sají vzduch z prostoru strojovny TG. Součástí přívodních jednotek jsou ohřívače, příp. chladiče, pro úpravu přívodní teploty vzduchu. Teplonosnými médii pro úpravu vzduchu je chlazená a topná voda.

Chod přívodních jednotek je vázán s provozem odsávacích ventilátorů. Odpadní vzduch je odveden do venkovního prostředí nad střechu PřE nebo PoE.

Větrání místností SKŘ - relé automatik, místnosti EX-CORE a RRCS

relé automatik - I. systém: PřE na podl. +14,7 m; VZT systém P-x20
relé automatik - II. systém: PoE na podl. +9,6 m; VZT systém P-x45, O-x44
relé automatik - III. systém: PoE na podl. +9,6 m; VZT systém P-x65, O-x64
relé automatik - IV. systém (nesystém – PPR-N): PřE na podl. +14,7 m; VZT systém P-x25
místnosti EX-CORE a RRCS: PřE na podl. +9,6 m; VZT systém P-x22

VZT systémy zajišťují větrání prostoru SKŘ s dodržením vnitřní teploty vzduchu větraných prostor na hodnotě (+22 ± 2) °C. Větrané prostory jsou udržovány v přetlaku vůči okolnímu prostředí.

VZT systémy obsahují vždy jednu pracovní VZT jednotku a jednu záložní VZT jednotku. Návrh VZT jednotky jsou schopny trvale odvádět 110 % z celkové tepelné zátěže místnosti SKŘ.

Pracovní VZT jednotky systémů P-x20, P x22, P x25 jsou navrženy se směšovací komorou venkovního a odvodního vzduchu s minimálním přívodem 15 % venkovního

vzduchu. Pracovní VZT jednotky systémů P-x45, P-x65 pracují bez směšování vzduchu. Odpadní vzduch je odveden axiálními ventilátory systémů O-x44, O-x64 do prostoru strojovny. Provoz přívodních jednotek je vázán s chodem odvodních ventilátorů. Součástí VZT jednotek jsou vodní ohřívače a chladiče. Teplonosným médiem je chlazená a topná voda.

Záložní (přídavné) VZT jednotky pracují pouze s cirkulačním vzduchem bez přisávání čerstvého vzduchu. Skládají se z vnitřní VZT jednotky (VZT jednotky s přímým chlazením nebo podstropní autonomní jednotky) a vnější kondenzační jednotky chlazené vzduchem. Kondenzační jednotky varianty s podsrtopními jednotkami jsou umístěny v m. č. 601 na podlaží +31,0 m. Jako chladicí médium je použito ekologické chladivo R407c. Záložní jednotky se spouští automaticky při poruše pracovní jednotky, přičemž za poruchu pracovní jednotky se považuje i zvýšení teploty ve větraných prostorech nad +26 °C.

Větrání větrání místnosti zajištěného napájení IV. systému

VZT systémy P-x82, O-x82 a P-x83, O-x83

VZT systémy zajišťují větrání místnosti zajištěného napájení 4. systému v přístavku PřE. Větrané prostory jsou udržovány v přetlaku vůči okolnímu prostředí.

VZT systémy se skládají ze samostatné a odvodní části. Přívodní VZT jednotky jsou navrženy na dodržení vnitřní teploty v místnosti í v rozmezí +10 až +25 °C. Odpadní vzduch je odveden axiálními ventilátory systémů. Provoz přívodních jednotek je vázán s chodem odvodních ventilátorů. Součástí jednotek je vodní ohřívač a chladič. Teplonosným médiem je chlazená a topná voda.

Klimatizace místností TIS (IN-CORE, PCS)

místnosti IN-CORE a PCS: PřE na podl. +9,6 m a +14,7 m; VZT systém K-x46, K-x46/2

Systémy K-x46 obsahují jednu pracovní VZT jednotku a záložní cirkulační chladicí jednotky v místnostech PCA, IN-CORE.

Pracovní VZT jednotky jsou navrženy se směšovací komorou venkovního a odvodního vzduchu s minimálním přívodem 20 % venkovního vzduchu. Součástí VZT jednotky je vodní ohřívač, chladič a zvlhčovač vzduchu. Teplonosným médiem je chlazená a topná voda.

V místnostech PCS a IN-CORE jsou instalovány záložní cirkulační jednotky s vnějšími kondenzačními jednotkami. Jako chladicí médium je použito ekologické chladivo R407c. Záložní jednotky se spouští automaticky při poruše pracovní jednotky, přičemž za poruchu pracovní jednotky se považuje i zvýšení teploty ve větraných prostorech (nad +26 °C v místnosti IN-CORE, nad +24 °C v místnosti PCS).

Pracovní i záložní jednotky jsou dostatečně dimenzovany na odvod tepla vyděleného v místnosti.

9.4.2.6 VZT systémy DGS

Úkolem VZT je zajistit větrání a odvod tepla, které při svém provozu vydělují do prostoru dieselgenerátory a jejich pomocná technologická zařízení.

Při provozu dieselgenerátorů (DG) je VZT systémy P-1, P-2 přiveden venkovní vzduch do prostoru strojovny DG. Přívod vzduchu je přirozeně otevíratelnými žaluziemi. Podtlakové odvětrání strojovny DG je zajištěno nástřešními ventilátory systémů V-1-6.

Pomocná technologická zařízení v suterénu dieselgenerátorové stanice (DGS), strojovně DG, prostoru zásobních nádrží a chodby DGS jsou větrána přívodními VZT jednotkami (P-3, P-4). Přívodní jednotky jsou vybaveny filtrací a vodními ohřívači pro tepelnou úpravu přívodu vzduchu. Tepelným médiem pro ohřev vzduchu je topná voda. Odvod vzduchu je řešen samostatnými odtahovými systémy V-7, V-8.

Odsávání naftových par při zkoušení trysek DG je zajištěno odsávacím ventilátorem systému V-9. Rozvodny DGS jsou větrány odsávacími axiálními ventilátory a chlazeny pomocí mezistropní klimatizační jednotky (systém V-10).

Prostor havarijních a zásobních nádrží nafty je řešen podtlakovým větráním s přirozeným přívodem vzduchu.

9.4.3 Provoz vzduchotechnických systémů

9.4.3.1 Ventilační systémy dozoren

Systémy zajišťují klimatizaci, větrání a chlazení prostorů dozoren při normálním i abnormálním provozu JE. Systém pracuje nepřetržitě, kromě provozu při rozpadu elektr. sítě vlastní spotřeby. Obyvatelnost dozoren je zajištěna při havarijních podmínkách až do úrovně maximální projektové nehody ve smyslu vyhl. SÚJB 307/2002 Sb., tj. z hlediska radiačních dávek pro pracovníky se zdroji ionizujícího záření. Systém pracuje nepřetržitě, kromě provozu při rozpadu elektr. sítě vlastní spotřeby (ÚZN VS).

9.4.3.2 Ventilační systémy bazénu vyhořelého paliva

Funkce ventilačních a filtračních systémů BS VP je požadována za normálního provozu, abnormálního provozu a při výměně paliva se zachováním jeho odolnosti vůči jednoduché poruše. Z tohoto důvodu je nutné zabezpečit trvalé odsávání vzduchu z hladiny v BS VP.

V režimu výměny paliva je hladina BS odkryta. V tomto stavu je uveden do činnosti cirkulační systém TL23, který doplňuje přívod vzduchu nad hladinu BS VP z RS. Přívod vzduchu z RS je přes hermetické uzávěry. Část vzduchu přivedeného systémem TL23 je odvedena na opačné straně bazénu a rozdíl v pracovním množství vzduchu (přívod – odvod) proudí zpět do RS. Odvodní systém TL72 zůstává trvale v provozu. Tím je omezen přestup vodních par z odkryté hladiny bazénu.

Systém TL72 patří do vzduchotěsné zóny a v režimu ÚZN VS se jeho provozuschopnost nepožaduje.

9.4.3.3 Ventilační systémy BAPP

Filtry VZT systému 0TL90, který odvádí vzduchu z kobek skladování RA koncentrátu a sorbentu, jsou nezbytné pro omezení výpustí tuhých a kapalných radioaktivních látek pod stanovené meze v průběhu všech stavů normálního a abnormálního provozu.

Hlavní odvodní systém BAPP (0TL90) a stejně tak odvodní systémy z místností bez rizika úniku radionuklidů 0TL91, 0TL92 pracují trvale. Společně s odvodními systémy pracují trvale přívodní systémy TL60, TL61. Odvodní systém digstoří 0TL94 pracuje občas dle momentální potřeby.

Přívodní systém TL63 pro skafandry pracuje občasně. Spuštění systému je na vyžádání radiační dozimetrie, VRB 1 nebo obsluhy BAPP. Spuštění všech ventilátorů a provětrání potrubí je prováděno jednorázově jednou za měsíc.

V režimu ÚZN VS je požadováno zajištění provozu systému TL63. Pro ostatní VZT systémy BAPP se v režimu ÚZN VS provozuschopnost nepožaduje.

9.4.3.4 Ventilační systémy místností bezpečnostních systémů

Funkce klimatizačních systémů zajišťujících provozní funkci zařízení důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a bezpečného chodu EDU musí být zajištěna za normálního i abnormálního provozu.

Výpadek dodávky topné nebo chlazené vody má přímý vliv na provozuschopnost jednotek. U VZT jednotek s občasným provozem není nutné této skutečnosti přikládat význačnou důležitost. Pro VZT jednotky s trvalým provozem je nutné bez prodlení odstranit případné poruchy zařízení.

Větrání rozvoden a kabelových prostorů:

Provoz zařízení I. a IV. systému je trvalý, bez rezervy. NCHJ (xUW301D25) jsou trvale připraveny k chodu, startují v případě překročení teploty v místnosti nad +25 °C. Provoz zařízení II. a III. systému je občasný v závislosti na nárůstu vnitřní teploty. Systémy jsou navrženy bez rezervy.

Větrání prostorů akubaterií:

Provoz VZT zařízení pro I., II., III. systém akubaterií je občasný, na základě požadavku. Zařízení pracují bez rezervy. Provoz VZT zařízení pro IV. systém akubaterií v přístavku PřE je trvalý.

Větrání místností SKŘ - relé automatik, místnosti EX-CORE a RRCS, místností TIS (IN-CORE, PCS):

Provoz pracovních jednotek a ventilátorů pro větrání a chlazení místností SKŘ je trvalý, s rezervou. Záložní (přídavné) chladicí jednotky jsou uvedeny do chodu dle potřeby, nebo automaticky v případě překročení nastavené vnitřní teploty větraných místností.

VZT systémy napájené ze ZN lze po výpadku dodávky el. energie a ukončení ELS pohonů uvést do provozu.

Větrání větrání místnosti zajištěného napájení IV. systému:

Provoz přívodní VZT jednotky a odvodního ventilátoru je občasný na základě požadavku, bez rezervy.

9.4.3.5 VZT systémy DGS

VZT systémy DGS jsou v trvalém automatickém provozu. Provoz chladicí jednotky V-10 v rozvodně je v automatickém režimu.

9.4.4 Bezpečnostní požadavky na systém

U vzduchotechnických systémů je nutné pravidelně kontrolovat stav strojních zařízení vč. regulačních prvků, výměníků, zanesení filtrů, zanesení zvlhčovače, funkční schopnost požárních klapek. Vzduchotechnické systémy musí být také kontrolovány na dodržení požadovaných provozních parametrů (průtoky vzduchu, hluková zátěž).

9.4.4.1 Ventilační systémy dozoren

Vzduchotechnické systémy pro větrání a chlazení dozoren jsou systémy související s bezpečností (SSB). Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. jsou VZT systémy zařazeny do BT3 pro udržení podmínek prostředí uvnitř jaderného zařízení, nutných pro provoz bezpečnostních systémů a pro přístup pracovníků k plnění činností důležitých pro bezpečnost.

Klimatizační jednotky s přívodem vzduchu jsou zařazeny do seismické kategorie 1b. Nouzové cirkulační jednotky jsou zařazeny do seismické kategorie 1a.

Klimatizační jednotky pro BD a ND jsou v provedení se 100 % zálohou (1 + 1), tedy jedna pracovní jednotka a jedna rezervní. Klimajednotky jsou napájeny ze systému el. napájení III. kategorie. Odolnost ztráty chlazení prostorů BD a ND při výskytu poruchy se společnou příčinou, jakou je např. ztráta chlazené vody, je zajištěna přidáním autonomních kompresorových chladících jednotek. Tyto autonomní kompresorové jednotky jsou napájené z libovolného ze tří divizí ZN II. kategorie.

9.4.4.2 Ventilační systémy bazénu vyhořelého paliva

Systém TL72 osahuje dvojici filtrů pro filtraci RA aerosolů, které jsou zařazeny do BT3 dle Vyhl. č. 132/2008 Sb., (SSB). Na odváděném vzduchu probíhá kontinuální radiační kontrola.

Systémy TL42, TL23 neobsahují žádná vybraná zařízení dle vyhl. SÚJB č. 132/2008 Sb., jsou napájeny ze systému el. napájení III. kategorie.

Provozuschopnost TL72 filtrovat RA aerosoly se požaduje s odolností vůči jednoduché poruše. Kritérium jednoduché poruchy v tomto případě zní: Zachování odolnosti TL72 vůči zanesení pracovního aerosolového filtru. Systém je TL72 navržen s pracovním a rezevním ventilátorem.

9.4.4.3 Ventilační systémy BAPP

Hlavní odvodní systém 0TL90 osahuje ventilátory a filtrační stanici RA aerosolů, které jsou zařazeny do BT3 dle Vyhl. č. 132/2008 Sb. Tato zařízení jsou zařazena do BT3 z nezbytných důvodu pro omezení výpusti RA látek pod stanovené mezní hodnoty v průběhu všech stavů normálního a abnormálního provozu. Ostatní VZT systémy BAPP neobsahují žádná vybraná zařízení dle Vyhl. SÚJB 132/2008 Sb. VZT systémy BAPP nejsou zařazeny mezi seismicky kvalifikované systémy.

Provozuschopnost systémů se požaduje s odolností vůči jednoduché poruše. Přívodní jednotky, odvodní ventilátory a filtry jsou navrženy jako 1 + 1, tj. jedna sestava je pracovní a druhá rezervní. Ventilátory a automatické plynotěsné uzávěry systému jsou napájeny ze systému el. napájení III. kategorie.

VZT jednotky přívodního systému rozvodu skafandrového vzduchu 0TL63 pracují jako 1 + 2, tj. jedna jednotka je pracovní a dvě jsou rezervní. Systém 0TL63 je funkční i v režimu ÚZN VS, jednotky jsou napájeny ze systému ZN I. kategorie. V tomto režimu pak systém nasává vzduch z místností, kam dodával vzduch systém 0TL60.

9.4.4.4 Ventilační systémy strojovny

Ventilační systémy strojovny neobsahují žádná vybraná zařízení dle vyhl. SÚJB 132/2008 Sb., jsou napájeny ze systému el. napájení III. kategorie.

9.4.4.5 Ventilační systémy místností bezpečnostních systémů

Protipožární klapky patří mezi vybraná zařízení podle Vyhl. č. 132/2008 Sb. a je na ně zpracován IPZJP. Dle harmonogramu zkoušek (2x za rok) provádí revizní technik funkční zkoušku požárních klapek ručním sepnutím.

Větrání rozvoden a kabelových prostorů:

VZT systémy P-x01, O-x01, P-x41, P-x61, O-x02 jsou zařazeny do BT3 dle Vyhl. č. 132/2008 Sb a je na ně zpracován IPZJP. Tyto systémy jsou napájeny z el. systému ZN II. kategorie.

VZT přívodní systémy IV. systému (P-x02) nepodléhají Vyhl. č. 132/2008 Sb. Zařízení P-x02 nejsou napájena z el. systému ZN II. kategorie.

Větrání prostorů akubaterií:

VZT systémy nepodléhají Vyhl. č. 132/2008 Sb. Zařízení nejsou napájeny z el. systému ZN II. kategorie.

Větrání místností SKŘ - relé automatik, místnosti EX-CORE a RRCS:

VZT systémy P-x20, P-x22, P-x25, P-x45, O-x44, P-x65, O-x64 jsou zařazeny do BT3 dle Vyhl. č. 132/2008 Sb. a je na ně zpracován IPZJP.

Pracovní VZT jednotky nejsou v provedení se seizmickou odolností. V provedení se seismickou kvalifikací Sc jsou provedeny záložní jednotky systémů (vnitřní i vnější).

Elektrické napájení:

- VZT zařízení pro I., II., III. systém (P-x20, P-x45, O-x44, P-x65, O-x64) jsou napájena z el. systému ZN II. kategorie.
- Pracovní VZT jednotky pro IV. systém relé automatik (P-x25) jsou napájeny z nezajištěné napájení III. kategorie. Záložní chladicí jednotka IV. systému (P-x25) je napájena z 1. systému ZN II. kategorie.
- VZT systém místností EX-CORE a RRCS (P-x22) je napájen z nezajištěné napájení III. kategorie.

VZT systémy větrání relé automatik splňují svým návrhem (pracovní + přídavná jednotka) požadavek na odolnost vůči jednoduché poruše i odolnost proti poruše ze společné příčiny (mimo stav ÚZN VS).

Větrání větrání místnosti zajištěného napájení IV. systému:

VZT systémy nepodléhají Vyhl. č. 132/2008 Sb. VZT systémy nejsou napájeny z el. systému ZN II. kategorie.

Klimatizace místností TIS (IN-CORE, PCS):

Záložní jednotka místností IN-CORE (K-x46) je zařazena do BT3 dle Vyhl. č. 132/2008 Sb., a je na ni zpracován IPZJP. Jednotka (vnitřní i vnější) je provedena v seismicky odolném provedení s kvalifikací Sa.

Záložní systémy jsou napájeny z nezajištěného napájení III. kategorie.

9.4.4.6 VZT systémy DGS

Chladicí jednotka systému V-10 je zařazena do BT3 dle Vyhl. č. 132/2008 Sb., Ostatní VZT systémy větrání DGS nepodléhají Vyhl. č. 132/2008 Sb., a není na ně zpracován IPZJP.

Ventilátory pro odsávání prostoru zásobních nádrží DG (V-8) jsou navrženy se 100 % rezervou (1 + 1).

Chladicí jednotka systému V-10 je napájená z II. kategorie ZN příslušného DG.

9.4.5 Zhodnocení provozu systému

Ventilační systémy dozoren

V databázi poruch EDU nejsou za dobu provozu EDU žádné poruchy ventilačních systémů dozoren zaznamenány.

V rámci modernizace byly zodolněny systémy VZT dozoren a doplněny nové klimatizační jednotky. VZT systémy BD obsahují speciální filtry, které umožňují záchyt RAL. Systém BD umožňuje režim izolace pro okamžité oddělení operativní části BD po vzduchotechnice od vnějšího prostředí. V případě nouzových situací je možno po určitou dobu provozovat VZT systémy pro BD jako cirkulační nebo filtroventilační, s přívodem čerstvého vzduchu.

Ventilační systémy bazénu vyhořelého paliva

V databázi poruch EDU nejsou za dobu provozu EDU žádné poruchy ventilačních systémů bazénu vyhořelého paliva zaznamenány.

Provozní zkušenosti však ukázaly, že vzduch odsávaný z BS VP se významně podílí na obsahu aerosolů ve výpustech do VK. Z tohoto důvodu byla podle požadavku do větve systému TL72 zabudována filtrační jednotka, osazená dvojicí aerosolových filtrů.

Ventilační systémy BAPP

V databázi poruch EDU nejsou za dobu provozu EDU žádné poruchy ventilačních systémů bazénu vyhořelého paliva zaznamenány.

Ventilační systémy strojovny

Pro klimatizační jednotky olejového hospodářství proběhla realizace záměny čerpadel topné vody za zapouzdřené. Smyslem akce je racionalizace údržby čerpadel zjednodušením jejich údržby.

V průběhu let 2003 a 2004 byla provedena rekonstrukce VZT pro sběrné ústrojí TG. Do potrubí přívodu vzduchu pro sběrné ústrojí TG11 je osazen filtr třídy EU3 a zvlhčovač vzduchu. Zvlhčování vzduchu je řízeno pomocí regulátoru teploty a udržuje žádanou relativní vlhkost. Vlhčení je prováděno demivodou.

Ventilační systémy místností bezpečnostních systémů

V databázi poruch EDU nejsou za dobu provozu EDU žádné poruchy ventilačních systémů v PřE a PoE zaznamenány.

Provedené modifikace a rekontrukce:

Na 1. až 4. bloku byla realizovaná v rámci akce 5677 náhrada kompresorových VZT jednotek s freonem R22 za jednotky s ekologickým chladivem R407c.

V rámci akce T845 byla v r. 2006 provedena modernizace VZT systémů větrání relé automatik a místnosti IN-CORE. Cílem rekonstrukce byla výměna starých jednotek a doplnění o rezervní jednotky s kompresorovým chlazením a s napájením z II. kategorie ZN. Na 1., 2. a 4. bloku byl ze systému O-x44 odstraněn jeden ze dvou původních ventilátorů z důvodu instalace autonomních cirkulačních jednotek. Na 3. bloku byly ventilátory systému O-364 ponechány ve stejném počtu. Ventilátory systémů O-x364 byly na sání osazeny uzavíracími klapkami s novým servopohonem BELIMO.

V roce 2008 byla provedena výměna dochlazovače z důvodu koroze nátrubků a připojovacích přírub u systémů P-101, P-102.

V letech 2012-2013 v rámci akce 5759 byly nově nainstalovány kompresorové autonomní jednotky pro chlazení střídačů ZN I. kategorie a byly provedeny výměny přívodních jednotek systémů P-x41, P-x61. Požadavek vznikl na základě doporučení hodnocení VZT po 20 letech provozu.

V rámci akce T5558 proběhla pro VZT jednotky systému P-x06, P-x81, P-x82 a P-x83 realizace záměny čerpadel topné a chlazené vody za zapouzdřené. Smyslem akce je racionalizace údržby čerpadel zjednodušením jejich údržby.

VZT systémy DGS

V databázi poruch EDU nejsou za dobu provozu EDU žádné poruchy ventilačních systémů DGS.

V rámci akce 5609 bylo realizováno instalací klimatizačních jednotek chlazení místností rozvodny 0,4 kV v DGS-1 až DGS-12. Jiné změny nad rámec běžné údržby nebyly realizovány.

9.4.6 Vyhodnocení připravenosti systému na další provoz

Ventilační systémy dozoren

Zodolnění a modernizace VZT systémů dozoren proběhla v roce 2012 na 3. bloku JE EDU. Ve stejném rozsahu proběhla modernizace na zbývajících blocích 1, 2, 4 v roce 2013. Modernizace spočívala v nahrazení stávajících klimatizačních jednotek za nové, doplnění kouřových čidel a plynotěsných uzávěrů pro stav „Izolace“ BD (ND) a instalaci autonomních cirkulačních chladicích jednotek do každého ze systémů BD a ND.

Životnost nového zařízení VZT systémů dozoren je možné díky stavebnicovému systému jejich konstrukce průběžně obnovovat při zachování všech požadavků na jejich spolehlivost po celou dobu provozu EDU.

Ventilační systémy bazénu vyhořelého paliva

Systém je dále provozuschopný. K nejrychlejšímu opotřebení dochází u ložisek a řemenů ventilátorových komor a dále u náplně aerosolových filtračních jednotek. V rámci údržby se životnost těchto komponentů pravidelně obnovuje. S vlivem na radiologickou situaci v RS a následně v komíně VZT je nutno v další fázi tuto situaci řešit úpravou VZT.

Ventilační systémy BAPP

V r. 2010 byla realizovaná rekonstrukce filtrace pro VZT odtahové systémy 0TL90. Životnost filtračních jednotek byla požadována zadávací dokumentací na 30 let.

Klimatizační jednotky jsou limitovány životností ohřívačů a chladičů na dobu 10 let. Teoretická životnost jednotek v systémech 0TL60, 0TL61 je tedy vyčerpána. Díky péči správců zařízení a údržbě jsou však dosud tyto jednotky v dobrém stavu. Vzhledem k délce plánovaného provozu EDU na 40 let bude zapotřebí provést obnovu tohoto zařízení. Teoretická životnost ostatních jednotek vyčerpána není.

Ventilační systémy místností bezpečnostních systémů

Životnost všech zařízení VZT systémů bezepečnostních systémů elektro a SKŘ je průběžně sledována na základě poruchovosti a vyhodnocováním protokolu o opravě.

Na systémech VZT byly průběžně provedeny rekonstrukce zařízení. Realizace rekonstrukcí VZT systémů byly provedeny s projektovou životností na 30 let. Při zachování stávající formy údržby zařízení a jeho modernizací lze zařízení udržet v provozuschopném stavu po celou dobu provozu EDU.

VZT systémy DGS

Životnost zařízení je průběžně sledována na základě poruchovosti a vyhodnocováním protokolu o opravě. Zachováním stávající formy údržby zařízení a jeho modernizací lze zařízení udržet v provozuschopném stavu po celou dobu provozu EDU.

9.5 Ostatní pomocné systémy

9.5.1 Systémy protipožární ochrany

9.5.1.1 Systémy ohlašování požáru

Ohlašování požáru ve všech objektech EDU zabezpečuje systém elektrické požární signalizace (EPS).

9.5.1.2 Popis systému

Elektrická požární signalizace je nezbytnou součástí ochrany objektů před požárem. Slouží ke včasnému zjištění vzniku požáru, jeho lokalizaci a předání informace o vzniku požáru příslušným složkám.

EPS je soubor přístrojů a zařízení, sloužících ke zjištění vznikajícího požáru. Přesto ochrana vybraných prostor zařízením EPS má především preventivní charakter. Ve smyslu „Zákona o požární ochraně“ č. 133/1985 Sb. a „Vyhlášky o požární prevenci“ č. 246/2001 Sb., podléhá zařízení EPS, jako vyhrazený druh zařízení požární ochrany, homologaci.

Technicky je systém EPS soubor hlásičů požáru, ústředen, propojovací kabeláže a doplňujících zařízení, jehož účelem je akusticky, opticky a graficky signalizovat místo vzniklého požáru, popř. spuštění hasebních systémů.

Další návazností je ovládání požárních klapek a jednotek VZT. Kromě této činnosti, systém EPS průběžně kontroluje funkce všech svých důležitých komponent a okamžitě signalizuje jejich případnou poruchu.

Typy hlásičů požáru jsou navrženy a realizovány v závislosti na parametrech produktů, které se tvoří při zahřívání, karbonizaci, vznícení nebo hoření materiálů vyskytujících se v příslušném chráněném prostoru.

Při výběru typu hlásičů požáru a při určování jejich rozmístění v chráněném prostoru je uvažováno i s prostředím chráněného prostoru, např. radiace, vlhkost, teplota, proudění vzduchu atp. Požární poplach signalizovaný EPS je jednoznačný, jasně rozeznatelný a není zaměnitelný se žádným jiným výstražným signálem.

9.5.1.3 Hlavní komponenty systému EPS

EPS Esser FlexES Control, na EDU, představuje modulární systém složený z jednotlivých komponent zabezpečujících zjištění vzniklého požáru, přenos signálu o požáru, vyhodnocení signálu, vyhlášení požárního poplachu, případně i ovládání dalších protipožárních systémů.

Každá ústředna EPS plní i autodiagnostické funkce a v případě poruchy na požárním hlásiči, požární lince, ústředně, nebo elektrickém napájení, je tento stav opticky a akusticky signalizován se současným zobrazením kódu poruchy na displeji ústředny.
V případě poruchy nebo výpadku elektrického napájení je ústředna EPS automaticky napájena z nezávislého zdroje - baterie.

Hlásiče požáru

V jaderné elektrárně je instalováno kolem 10 000 hlásičů požáru následujících typů:

a) opticko-kouřový: hlásič reaguje na viditelný kouř. Je to nejrozšířenější typ automatického požárního hlásiče.
b) tepelný: zpravidla v provedení jako kombinované, ve kterých hlásič reaguje jak na zvýšení teploty nad nastavenou mez, tak na vzrůst teploty v čase (gradient) rychlejší než nastavená hodnota.
c) lineární (aktivní světelný): vysílač hlásiče vysílá optický paprsek, který přijímač (může být umístěný až 100 metrů od vysílače) vyhodnocuje podle intenzity zaclonění kouřem.
d) plamenný (pasivní světelný): Obsahuje jeden nebo více (až tři) senzorů, které detekují modulované vyzařování plamene hlavně v infračervené oblasti o vlnové délce 4,3 µm (souvisí s emisí CO_2). Další senzory zvyšují spolehlivost detekce a odolnost vůči falešným poplachům).
e) zařízení DTS (Distributed Temperature Sensing) – dále „DTS“, které se skládá z řídící jednotky a detekčního kabelu s optickými vlákny. Komplet je firmou Honeywell-Esser deklarován jako lineární tepelný kombinovaný hlásič. Zařízení detekuje překročení nastavené mezní teploty a / nebo gradient nárůstu teploty s přesným vyhodnocením místa požáru.
f) Multisenzorový hlásič O^2T je hlásič se dvěma integrovanými optickými snímači kouře s rozdílnými úhly detekce a s doplňkovým senzorem vyhodnocení teploty. Hlásič je vhodný k detekci doutnajících a otevřených požárů. Porovnání signálů snímačů kouře dokáže hlásič minimalizovat riziko falešných poplachů vyvolaných např. vodní párou nebo prachem.

g) Plamenné hlásiče Det-Tronics X3301 reagují na vyzařování plamene v určité části spektra IR. Tyto hlásiče jsou vybaveny třemi IR senzory, díky kterým je minimalizováno riziko falešných poplachů.
h) Nasávací systém Titanus Top Sens se skládá z řídící jednotky a nasávacího potrubí. Používá se tam, kde z různých důvodů není vhodné použít klasické bodové hlásiče. Systém nepřetržitě odebírá vzorky vzduchu z hlídaných prostorů pomocí ventilátoru. Vzorek vzduchu je přiváděn nasávacím potrubím do měřící komory k detektoru kouře.
i) tlačítkové – manuální hlásiče požáru, a to většinou s přímou obsluhou (typ A), což je hlásič, u kterého je přechod do poplachového stavu automatický, bez nutnosti dalšího ručního zásahu.

Nadstavbový systém EPS

Nadstavbový systém na požární stanici HZSp EDU je centrem systému EPS celé EDU. Podle vyhlášky 132/2008 Sb., kapitola 1 přílohy, odst. 1.3.13 je to vybrané zařízení určené pro předcházení nebo pro omezení následků poruch ostatních zařízení zařazených do BT 1,2 nebo 3, jejichž poruchy by mohly vést k narušení plnění jejich bezpečnostních funkcí.

Ústředny EPS v areálu elektrárny tvoří decentralizovanou soustavu požárních ústředen, propojených v síti nadstavby do kruhu optickými kabely s přenosem po síti Ethernet. Přenos je plně redundantní při poruše v jednom místě okružního propojení. Použité aktivní prvky sítě se automaticky adaptují na novou konfiguraci.

Použitým nadstavbovým systémem je nadstavba TVRZ, podle ČSN TS 54-14 se jedná o nadstavbový systém kategorie 2, což je lokální monitoring s možností ovládání ústředen EPS.

V areálu jaderné elektrárny Dukovany jsou všechny ústředny EPS připojeny na nadstavbový počítačový systém TVRZ, který na monitoru konzoly nebo synoptickém tablu poskytuje počítačem zpracovanou textovou nebo grafickou výstupní informaci přesně identifikující prostor, ve kterém je detekován požár, aktivované smyčky a požární detektory. Kromě toho tento systém umožňuje i zpracování a zobrazení intervenčních textů obsahujících ostatní důležité informace.

Konzola nadstavbového systému je umístěna na HZSp EDU a je z ní je ovládána EPS. Případnou její poruchou není činnost EPS ovlivněna a není ovlivněno ani ovládání ústředen, protože je ústředny možno ovládat jak ze stanovišť decentralizovaných ústředen, tak z ovládacích a signalizačních panelů ve velínu HZSp.

9.5.1.4 Systémy automatického hašení požáru a systémy skrápění

Stabilní systémy hašení požáru a systémy skrápění jsou řešeny dle českých normativních předpisů a dle metodik schválených ministerstvem vnitra. V areálu jaderné elektrárny jsou realizovány systémy vodního stabilního hasicího zařízení, vodního stabilního skrápěcího zařízení, plynového stabilního hasicího zařízení na CO_2, plynového halonového stabilního hasicího zařízení. Účelem stabilního hasicího zařízení (SHZ) nebo stabilního skrápěcího zařízení (SSZ) je rychle uhasit jakýkoliv požár, který v prostoru chráněném SHZ nebo SSZ vznikne.

Účelem stabilního skrápěcího (SSZ) je, v případě vzniku požáru skrápět a ochlazovat prostor, stavební a technologické konstrukce a zařízení, které se v prostoru chráněném SSZ nacházejí a chránit je tak před tepelnými účinky požáru a současně skrápět a ochlazovat i hořlavé materiály, které se v prostoru chráněném SSZ nacházejí a zamezit tak šíření požáru.

Vodní stabilní skrápěcí zařízení (SSZ)

Zařízení je určeno ke skrápění a ochlazování důležitých kabelových prostorů a důležitých kabelových stoupaček.

Vodní stabilní hasicí zařízení (SHZ)

Zařízení je určeno k hašení požárů vzniklých na transformátorech vyvedení výkonu, na transformátorech vlastní spotřeby (odbočkové transformátory) a na transformátorech rezervního napájení. Zařízení je konstruováno tak, aby současně s hašením bylo

zabezpečeno i intenzívní ochlazování transformátoru. Dále je zařízení určeno pro hašení požárů olejových nádrží jednotlivých TG a elektronapájecích čerpadel.

Plynové CO_2 stabilní hasicí zařízení

Zařízení je určeno k hašení požárů v Centrálním olejovém hospodářství v objektu strojovny.

Stabilní hasicí halonové zařízení

Systém SHZ halon 1301 zajišťuje detekci požáru, vyhlášení poplachu a spuštění hašení v příslušných prostorech na úrovni +9,60 m příčné a podélné etažérky a na palubě HCČ pomocí plynu Halon 1301. Hasební ústředny jsou umístěny vždy mimo hasební úseky, které zajišťují.

9.5.2 Komunikační systémy

Provoz elektrárny je zajištěn několika na sobě nezávislými interními a externími sdělovacími systémy. Sdělovací (komunikační) systémy jsou realizovány tak, aby bylo zajištěno potřebné spojení mezi jednotlivými objekty v EDU a jednak spojení EDU s okolím.

Komunikační systémy dělíme na:

- automatické telefonní zařízení
- systém jednotného času
- systém závodního, provozního a místního rozhlasu
- dispečerské hovorové zařízení
- rádiové sítě
- alternativní prostředky pro komunikaci uvnitř i vně EDU

9.5.2.1 Automatické telefonní zařízení

Digitální telefonní ústředna MD110 (TÚ) se skládá z části pro stacionární telefonní linky a z části pro přenosné telefony (freesety).

Prostřednictvím části pro stacionární linky TÚ, která je systémově rozdělena a dispozičně umístěna v objektech 650/1-01, 780/1-04 a 806/1-03, jsou uskutečněna všechna potřebná telekomunikační spojení všech pracovišť, vybavených automatickými telefonními přístroji v JE. Bezpečnost provozu je dána spolehlivostí použitého systému telefonní ústředny.

9.5.2.2 Systém jednotného času

Jednotlivé stavební objekty elektrárny jsou vybaveny zařízením elektrického jednotného času.

Systém jednotného času je tvořen 9 nezávislými střadačovými hodinami s příslušným počtem rozbočovačů umístěnými v objektech AB1, PB1, PB2, KORD1, PřE1, PřE2, PřE3, PřE4 a SVP. Síťové napájení ústředen není zálohováno. Hlavní střadačové hodiny EH81 jsou určeny buď pro přímé nebo přes RL83 řízení podružných hodin polarizovanými minutovými impulsy.

Jednotlivé stavební objekty elektrárny jsou vybaveny koncovými prvky (hodinami) různých typů, dle prostředí, ve kterém jsou umístěny.

9.5.2.3 Systém závodního, provozního a místního rozhlasu

Závodní rozhlas zajišťuje přenos informací celopodnikového charakteru do vybraných objektů a venkovních prostor JE. V případech mimořádných událostí dle vnitřního havarijního plánu se jeho prostřednictvím upřesňují pokyny pro chování osob a je záložním prostředkem pro vyhlášení mimořádných událostí.

Modulace i ovládání je možné z ovládacího pultu umístěného na pracovišti HŠ v AB1 nebo z vybraných linek TÚ JE. Ovládaní a modulace místního rozhlasu pro prostory HZSp je navíc z pultu dispečinku HZSp.

Stavební objekty elektrárny jsou v rámci stavby vybaveny reproduktory závodního rozhlasu, regulátory hlasitosti, vnitřními kabelovými rozvody závodního rozhlasu a vybrané objekty rozhlasovými ústřednami. Objekty jsou mezi sebou propojeny venkovními kabely, které jsou položeny ve venkovních kabelových kanálech elektrárny. Z objektových rozvodů jsou napojeny i venkovní KZ. Potřebné pokrytí venkovních a vnitřních prostor elektrárny akustickým signálem je pomocí rozmístěných reproduktorů závodního rozhlasu.

Provozní rozhlas (PR) slouží pro předávání informací pracovníkům provozu potřebných při údržbě a opravách v prostorách HVB. Každý RB má rozhlas samostatně ovladatelný do 3 částí - strojovna, etažérky a reaktor. V případech mimořádných událostí dle vnitřního havarijního plánu se prostřednictvím PR upřesňují pokyny pro chování osob v ozvučených prostorách HVB.

Ovládání provozního rozhlasu je prováděno z blokové dozorny, nouzové dozorny nebo společné dozorny v rámci HVB.

Místní rozhlas je určen pro ozvučení CO krytů pod AB2, CÚ a DMS.

9.5.2.4 Dispečerské hovorové zařízení

Systém dispečerského hovorového zařízení slouží k operativnímu spojení obsluh dozoren s příslušnými místy v provozu a k operativnímu obousměrnému přenosu informací. Na každém RB je instalován autonomní dispečerský systém. Jádro systému tvoří vždy server s dispečerskou aplikací, ke kterému je připojena telefonní ústředna Ericsson MD 110. K telefonní ústředně jsou připojena jednotlivá dispečerská pracoviště a koncová komunikační zařízení. Jádro systému je umístěno na každém reaktorovém bloku v příčné etažérce v místnosti spojů. Dispečerské systémy jednotlivých RB jsou spolu navzájem propojeny pomocí své autonomní sítě a celý systém též komunikuje s telefonní ústřednou EDU. Dále mohou být pomocí dispečerského systému provedena hlášení do provozního rozhlasu. Komunikace dispečerského systému je nahrávána a zálohována minimálně po dobu 3 měsíců.

9.5.2.5 Radiové sítě

Rádiové sítě, povolené ČTÚ, jsou v JE používány pro řadu pracovních činností a podle toho jsou také děleny.

Rádiová síť TSFO je vybavena radiostanicemi firmy MAXON a MOTOROLA, v provozu jsou základnové radiostanice PM150 a GM360. Přenosné radiostanice jsou typu MAXON SL500, SL600 a MOTOROLA GP340.

Rádiové sítě hasičského záchranného sboru ČEZ-EDU dělíme na součinnostní rádiovou síť HZSp, která je povolena pro zabezpečení spolehlivého požárního zásahu jednotky HZSP a pro zajištění součinnosti s ostatními jednotkami požární ochrany Rádiové sítě jsou vybaveny radiostanicemi MOTOROLA. Základnové stanice jsou typu GM360, mobilní stanice typu GM340, GM360 a přenosné stanice typu GP340. Základnové stanice jsou umístěny v místnosti dispečera HZSp. Mobilní stanice jsou umístěny v určených vozidlech HZSP.

Rádiová síť LRKO je povolena pro zajišťování úkolů radiační kontroly provozu v okolí JE. Síť je vybavena stanicemi MOTOROLA CM 340. Základnové stanice jsou umístěny v kanceláři vedoucího LRKO v Moravském Krumlově a na centrální dozorně radiační kontroly, mobilní stanice jsou umístěny v pohotovostních vozidlech oddělení.

Rádiová síť kolejové dopravy je složena z vozidlových, základnové a kapesních radiostanic značky MOTOROLA typu GM 950 a GP 300 a slouží pro zajištění provozních potřeb daného útvaru. Pracovníci oddělení vykonávající manipulace s palivem používají radiostanice typu MOTOROLA XTR 446. Tyto radiostanice jsou používány při transportech paliva. Pracovníci oddělení speciální kontrola používají radiostanice typu MOTOROLA GP340 a slouží pro zajištění potřeb daného oddělení.

9.5.2.6 Alternativní prostředky pro komunikaci uvnitř i vně JE

Alternativní prostředky pro komunikaci uvnitř a vně JE slouží v případě mimořádných situací, kdy již nejsou v provozu běžně používané komunikační prostředky. Prostředky lze rozdělit pro komunikaci uvnitř JE, mezi které patří komunikace pomocí telefonního systému MB (místní baterie). Tento systém je tvořen polním kabelem (PK) mezi objekty CO kryt pod budovou AB1 a BD nebo ND na každém RB, směnovým inženýrem (SI) a manipulantem elektro (ME) na ústředním elektrickém dispečinku (UED) a CO krytem pod PB2. V CO krytu pod budovou AB1 je umístěna polní MB telefonní ústředna a pro jednotlivá obslužná místa jsou uskladněny polní telefonní MB přístroj typ TP25.

Pro komunikaci HZSp EDU pomocí rádiové sítě a pro komunikaci zasahujících složek pomocí rádiové sítě s CO krytem pod AB1 jsou vyvedeny stacionární antény pro přenosnou radiostanici mimo budovu AB1. Pro komunikaci zasahujících složek pomocí rádiové sítě s CO krytem pod PB2 je vyvedena stacionární anténa pro přenosnou radiostanici mimo budovu PB2. Pro komunikaci pomocí rádiové sítě SI a zasahujících složek je vyvedena stacionární anténa pro rádiovou síť na vnější stěnu UED.

Pro komunikaci vně EDU pomocí GSM sítě operátora O2 jsou do CO krytů pod AB1 a PB2 přivedeny pomocí převaděčů signály této sítě.

Pro komunikaci s KŘ HZS Kraje Vysočina a Jihomoravského je z CO krytu pod AB1 vyvedena anténa pro systém MATRA provozovaný HZS mimo budovu AB1 a pro komunikaci dispečera HZSp EDU je vyvedena anténa na budovu HZSp.

Pro komunikaci mezi provozním a zasahujícím personálem, ale i vnějšími subjekty jsou v objektech UED, CO AB1, HZSp instalovány satelitní telefony včetně dokovací stanice.

9.5.3 Osvětlení

9.5.3.1 Účel osvětlení a jeho význam pro bezpečnost

Jednotlivé druhy osvětlení musí zajistit:

- dostatečnou světelnou pohodu v pracovních prostorách - normální (pracovní) osvětlení,
- základní osvětlení prostor v případě poruchy normálního (pracovního) osvětlení - náhradní osvětlení,
- osvětlení únikových cest, důležitých manipulačních míst a prostor, kde může dojít k úrazu, bezpečnou evakuaci osob při výpadku normálního a náhradního osvětlení – nouzové osvětlení.

9.5.3.2 Popis konstrukce, umístění a technologické schéma

Osvětlení v primární i sekundární části elektrárny Dukovany je součástí jednotlivých stavebních objektů. Prováděcí dokumentace byla zpracována v souladu s československými normami, sortimentem svítidel dostupným v době zpracování projektu a požadavky na osvětlení. Návrh osvětlovacích soustav vychází zejména z norem ČSN 360450, ČSN 360451, ČSN 36 0046.

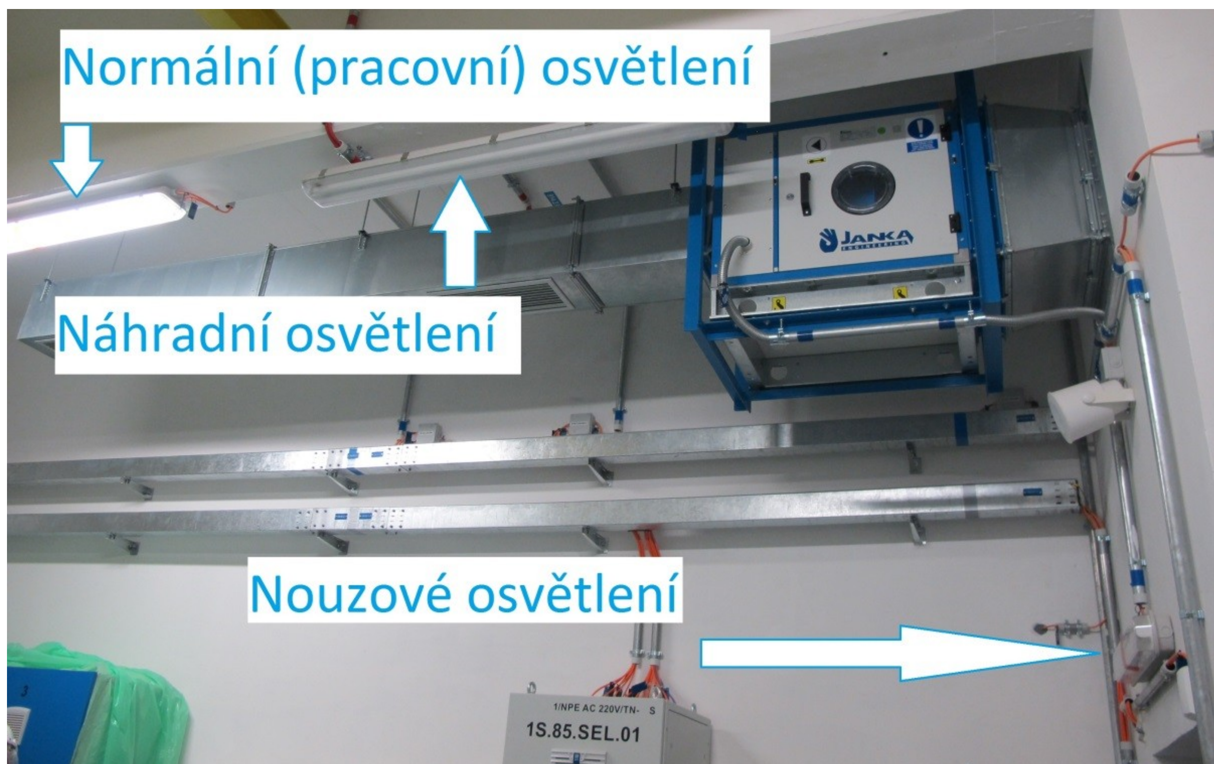
Osvětlení interiérů jako celek je v jednotlivých objektech řešeno kombinací následujících druhů osvětlení:

Normální (pracovní) osvětlení - je ve funkci za obvyklých provozních podmínek a je napájeno z rozvaděčů systému nezajištěného napájení vlastní spotřeby (xFSxx).

Náhradní osvětlení - je navrženo v místnostech, ve kterých je i v případě výpadku normálního (pracovního) osvětlení nutno alespoň po určitou dobu pokračovat v pracovní činnosti. Jedná se zejména o pracoviště charakteru řídících center (dozoren), reaktorovnu a další místnosti technologického charakteru. Náhradní osvětlení je napájeno z rozvaděčů II. kategorie zajištěného napájení vlastní spotřeby (xFVxx, xFWxx, xFXxx).

Nouzové (únikové) osvětlení – zajišťuje osvětlení únikových cest, důležitých manipulačních míst a prostor, kde může dojít k úrazu, umožňuje bezpečnou evakuaci osob při výpadku normálního (pracovního) osvětlení. Rozvaděče nouzového osvětlení jsou v normálním provozu napájeny z podružných rozvaděčů II. kategorie zajištěného napájení a v případě ztráty napětí se automaticky přepnou na napájení ze stejnosměrných rozvaděčů zajištěného napájení I. kategorie.

Příklad provedení osvětlení v objektu SO 593/1-03 (SO 593/1-03 Budova pro superhavarijní napájení 3) je na Obr. 125..



Obr. 125. Normální, náhradní a nouzové osvětlení v objektu SO 593/1-03

9.5.4 Systémy dopravy a skladování paliva pro dieselgnerátory

9.5.4.1 Obecný popis dieselgenerátoru

V areálu JE se nacházejí dvě dieselgenerátorové stanice DGS1 a DGS2. Pokud není uvedono jinak platí popis jak pro DGS1 tak i DGS2.

DGS1 se skládá ze dvou stavebních objektů, které náleží k HVB1. Dieselgenerátorová stanice, objekt 530/1-01, tvořené šesti samostatnými místnostmi DGS 1-6, kde se nacházejí vlastní strojovny DG, dozorna, pomocná technologie, rozvodny, transformátory, strojovny vzduchotechniky, místnosti nádrží a místnost tlumiče výfuku. Jmenovitý výkon jednoho dieselgenerátoru je 3000kW.

Vnější palivové a olejové hospodářství, objekt 531/1-01, je tvořeno stáčecím místem pro autocisterny a železniční vagóny, zásobními nádržemi paliva, dopravními čerpadly paliva, reexpedičními čerpadly, havarijními nádržemi a čerpadly HN.

Platí i pro DGS2 - skládá ze dvou stavebních objektů, které náleží k HVB2.

Dieselgenerátorová stanice, objekt 530/1-02, tvořená šesti samostatnými kobkami DGS 7-12. Vnější palivové a olejové hospodářství, objekt 531/1-02. Jmenovitý výkon jednoho dieselgenerátoru je 3000kW.

Provozní režimy DG:

Horká rezerva – DG v režimu „horká rezerva je schopen kdykoli nastartova.

Normální práce – DG pracuje s nominálním zatížením spotřebičů reaktorového bloku.

Práce v testu – DG pracuje od požadavku obsluhy reaktorového bloku

Práce do sítě elektrizační soustavy - DG pracuje od požadavku obsluhy reaktorového bloku a může pracovat s nominálním zatížení do venkovní el. soustavy.

9.5.4.2 Hodnocení bezpečnosti

Dieselgenerátorové stanice EDU jsou havarijním zdrojem zajištěného napájení II. kategorie. Elektrické zařízení, SKŘ a strojní zařízení DGS je vybraným zařízením zařazeným do bezpečnostní třídy „2“ dle vyhlášky SÚJB 132/2008 Sb.

Každý reaktrový blok EDU je vybaven třemi bezpečnostními systémy, které jsou navzájem nezávislé (dispozičně, elektricky, požárně). Při likvidaci havárie a dochlazení reaktoru postačuje činnost pouze jednoho ze tří bezpečnostních systémů. Pro tuto situaci je zajištěno zálohování bezpečnostními sytémy 200%.

9.5.4.3 Systémy dopravy a skladování paliva

Systém palivového hospodářství je umístěn (QP) v objektu 531/1-01 (531/1-02). V každé betonové jímce je umístěna dvojice nádrží (2x100m^3) pro příslušný diesel generátor.

Palivový systém slouží pro skladování, čištění a dopravu paliva pro dieselgenerátory. Palivo je skladováno ve 12-ti zásobních nádrží o kapacitě 100m^3. Za zásobních nádrží je palivo čerpáno skrz hrubý filtr paliva do provozní palivové nádrže příslušného dieselgenerátoru. Objem provozní palivové nádrže je 6m^3. Z provozní palivové nádrže je palivo nasáváno provozním čerpadlem skrz hrubý filtr a jemný filtr paliva ke vstřikovacímu čerpadlu DG.

Zásoba paliva v zásobních nádržíš (2x100m^3) vystačí pro příšlušný DG při nominálním výkonu po dobu min. 10dnů. Objem provozní nádrže paliva (6m^3) vystačí cca na 8 hodin provozu DG bez doplnění.

9.5.4.4 Hodnocení bezpečnosti

Při poruše systému vnějšího palivového hospodářství, nebo na trase doplňování paliva do provozní nádrže je možnost opravy této poruchy do 6ti hodin o zjištění poruchy, za předpokladu že provozní nádrž je doplněna na maximální hladinu.

9.5.5 Systém chladící vody pro dieselgenerátory

9.5.5.1 Popis systému

Chlazení dieselgenerátorů je odvouokruhový a skládá se z vnitřního chladícího okruhu (QS) a vnějšího okruhu chlazení motoru TVD (QF). Vnitřní okruh je naplněn demivodou s obsahem inhibitoru koroze. Vnější okruh slouží k pro odvod tepla z vody vnitřního okruhu chlazení a systému mazacího oleje motoru.

Oba systémy (QS a QF) jsou umístěny v objektu 530/1-01 (530/1-02).

Vnitřní okruh QS zajišťuje chlazení válců, hlav a trysek dieselgenerátoru. Demivoda se při provozu dieselgenerátoru ohřívá z teploty 73°C na teplotu 82°C. Teplo z vnitřního okruhu je odváděno pomocí hladiče do vnějšího okruhu chlazení TVD systém QF.

Při režimu dieselgenerátor „horká rezerva“ je teplota vody ve vnitřním okruhu udržována pomocí elektroohříváku na teplotě 50-60°C.

Vnější okruh chlazení TVD systém QF odvátí teplo z chladiče vnitřního okruhu, chladiče mazacího oleje a z chladiče plnícího vzduchu.

9.5.5.2 Hodnocení bezpečnosti

Pokud by došlo k přerušení dovádky TVD, případně k poruše na systému chladící vody, která by za provozu DG nešla odstranit, a vedla by k odstavení DG, je nutné přejít na další zdroj zajištěného napájení, tj. na jiný ze dvou zbývajících DG.

9.5.6 Systém spouštění dieselgenerátorů

9.5.6.1 Popis systému

Systém QM slouží pro výrobu, skladování a dopravu stlačeného vzduchu pro potřeby dieselgenerátoru. Stlačný vzduch se využívá k rozběhu motoru na startovací otáčky (100-160ot/min) a k pomalému protáčení dieselgenerátoru v režimu „horká rezerva“ Systém QM je umístěn v objektu 530/1-01 (530/1-02).

Systém se skládá ze dvou elektrokompresorů, adsorbčních sušiček a dvou zásobních vzdušníků a potřebných armatur a potrubí. Zapojení systému zaručuje 100% zálohování systému mimo adsorpčních sušiček. V případě odstavení sušiček nebe jejich poruch je provoz zajištěn bypassem sušiček.

Kompresory produkují stlačný vzduch o tlaku 2,8MPa a zdvojeným potrubím přes adsorpční sušičky plní vzdušníky o objemu 2x1600l (DGS 2 2x2000l).

9.5.6.2 Hodnocení bezpečnosti

Objem vzdušníků zabezpečuje min. 6 startů DG bez potřeby doplnění každého vzdhušníku. Tlak ve zdušnící je udržován v rozmezí 2,5 – 2,8MPa. Při poklesu tlaku se automaticky spínají kompresory a natlakují vzdušníky na výše uvedený tlak.

Pokud by došlo k poruše na systému spouštění DG, která by za provozu DG nešla odstranit, a vedla by k odstavení DG je nutné přejít na další zdroj zajištěného napájení, tj. na jiný ze dvou zbývajících DG.

9.5.7 Olejový systém dieselgenerátorů

9.5.7.1 Popis systému

Olejový systém dieselgenerátoru QA je umístěn v objektu 530/1-01 (530/1-02). Systém QA pracuje ve dvou režimech. Při režimu „horká rezerva“ udržuje motor v teplém stavu a zajiťuje promazávání dieselgenerátoru. Při režimu „provoz“ zajistišťuje mazání a odvod tepla z motoru.

V režimu „horká rezerva“ je olej čerpán z provozní nádrže a prochází přes termoregulační ventil, který reguluje průtok skrz ohřívák oleje v závisloti na teplotě oleje před termoregulačním ventilem AMOT. Okruh „horká rezerva“ je paralelně zapojen vůči hlavnímu olejovému čerpadlu a chladiči oleje. V režimu „horká rezerva je teplota oleje udržována na teplotě 50°C.

V režimu „provoz DG“ je z provozní nádrže olej nasáván zubovým olejovým čerpadlem dieselgenerotoru. Redukční ventil umístěný v čerpadle udržuje tlak oleje na hodnotě 0,6 MPa(g). Výtlak čerpadla je veden k termoregulačnímu ventilu AMOT. Ventil AMOT otvírá/zavírá obtok chladiče oleje a tak se udržuje teplota oleje před vstupem do DG na hodnotě 55°C. Z chladiče oleje je teplo odváděno systémem TVD. Po průchodu chladičem oleje je olej filtrován na přes dvojité hrubé a jemné filtry. V DG se olej ohřeje na teplotu cca 67°C a je zaveden zpět do provozní olejové nádrže.

Dieselgenerátor je vybaven provozní nádrží motorového oleje o objemu 6m3 (DGS2 1,5m^3) a zásobní nádrží oleje o objemu 3m3, která slouží k doplňování oleje do systému v případě pohlesu hladiny v provozní nádrži.

9.5.7.2 Hodnocení bezpečnosti

Pokud by došlo k poruše na olejovém systému, která by nešla odstranit za prozvozu DG a vedla by k odstavení DG, je nutné přejít na další zdroj zajištěného napájení, tj. na jeden ze zbývajících dvou DG. V případě, že dojde k překročení provozních parametrů tlaku a teploty oleje musí být DG odstavený a odstraněna příčina překročení výš uvedených parametrů.

9.5.8 Systém dodávky vzduchu pro spalování a pro odvod výfukových plynů od dieselgenerátorů

9.5.8.1 Popis systému

Systém UW – vzduchotechnika zajišťuje přívod a odvod vzduchu do všech prostorů DGS, dále systém UW odvádí teplo, které vzniká při provozu DGS. Systém zásobuje dieselgenerátory potřebným množstvím spalovacího vzduchu a také zajišťuje bezpečný odvod spalin z prostoru DGS. Systém UW je umístěn v objektu 530/1-01 (530/1-02).

Dieselgenerátor nasává spalovací vzduch z prostoru strojovny přes filtr vzduchu, který je umístěn přímo na sacím hrdle DG. Výfukové plyny proudí ze spalovacího prostoru do turbínové strany turbodmychadel a dále pokračují výfukovým potrubím skrz tlumič hluku na střechu DGS.

9.5.8.2 Hodnocení bezpečnosti

Nejvýznamější událostí z hlediska bezpečnosti je požár v systému dopravy a skladování paliva v blízkosti DGS. Množství spalin vzniklých při požáru mohou snížit koncentraci kyslíku ve vzduchu nasávaného z okolí. Tato situace může vést k poklesu výkonu DG popřípadě k jeho výpadku.

10 Systém konverze páry a energie

Jaderná elektrárna Dukovany typu VVER 440 V-213 je tříokruhová elektrárna (obdoba typu PWR), přičemž aktivní médium je pouze v prvním, tedy primárním, okruhu. Jako zdroj tepla je použita aktivní zóna reaktoru, ve které teplo vzniká štěpením izotopu uranu U^{235} tepelnými neutrony. Jako chladící médium primárního okruhu je použita lehká (obyčejná) demineralizovaná voda, která je v primárním okruhu udržována v trvale podchlazeném (tedy kapalném) stavu, je uvedena do nucené cirkulace v šesti smyčkách pomocí šesti hlavních cirkulačních čerpadel, a odebírá teplo z aktivní zóny reaktoru. Médium primárního okruhu pak předává teplo v šesti parogenerátorech do vody sekundárního okruhu, která již není radioaktivní, ve kterých vzniká pára, vedená na turbogenerátory. Zde dochází ke konverzi tepelné energie přenášené parou na energii mechanickou a dále na energii elektrickou.

Pro účely přeměny energie páry v energii mechanickou je pro každý reaktorový blok určena dvojice kondenzačních turbín s neregulovanými odběry, jejichž kondenzátory jsou chlazeny třetím (terciálním) okruhem pomocí cirkulační chladicí vody. Část tepla obsažena v páře je z turbín odebírána pro využití jednak v samotné technologii turbíny a sekundárního okruhu, jednak pro využití v areálu elektrárny (např. vytápění budov). Teplo z páry z neregulovaných odběrů je možno využít i pro zásobování vnější teplárenské sítě, avšak v případě EDU tato možnost není zatím využita.

Každý turbogenerátor je tvořen hlavními částmi - turbínou a elektrickým generátorem, spojenými mechanickou spojkou. Parní kondenzační turbína tak pohání generátor o jmenovitém činném výkonu 255 MW a reálném činném výkonu 250,6 MW, který je pro odvedení ztrátového tepla chlazený vodíkem (rotor generátoru) a demineralizovanou vodou (stator generátoru). Turbíny jsou třítělesové s jedním vysokotlakým dílem a dvěma nízkotlakými díly na sytou páru, s přihříváním páry mezi vysokotlakým a nízkotlakými díly. Elektrický generátor je dvoupólový, čemuž pro frekvenci sítě 50 Hz odpovídají jmenovité otáčky soustrojí 3000 ot/min.

Každý nízkotlaký díl turbíny má vlastní kondenzátor, který je součástí systému kondenzace a je chlazen cirkulační chladicí vodou. Kondenzát je z kondenzátoru dopravován kondenzátními čerpadly 1. a 2. stupně přes blokovou úpravnu kondenzátu (úprava chemického režimu) a pětistupňovou nízkotlakou regeneraci (regenerační dohřev) do dvojice napájecích nádrží. V napájecích nádržích je kondenzát dohříván párou z pomocného kolektoru 0,7 MPa (a dále mluvíme již o napájecí vodě). Napájecí voda je z napájecích nádrží čerpána hlavními elektronapájecími čerpadly přes vysokotlakou regeneraci (druhý regenerační dohřev) zpět do šesti parogenerátorů. Tím je celý sekundární okruh uzavřen.

10.1 Celkový popis

Celkový popis sekundárního okruhu je popisem vazeb, propojení a funkcí jednotlivých zařízení, přičemž jako základ jsou brány pouze hlavní provozní funkce. Systémy jsou funkčně popsány ve směru toku energie a hlavního toku média od hlavních parních uzávěrů (elektroarmatury na jednotlivých parovodech od parogenerátorů) po turbogenerátor, dále pak ve směru toku média z turbogenerátoru zpět do hlavního napájecího kolektoru k jednotlivým větvím napájení parogenerátorů (napájecím hlavám).

Sekundární okruh je možno rozdělit pomocí armatur na dvě symetrické poloviny, příslušející ke dvěma turbogenerátorům. Umožňuje tak rozdílný způsob provozování obou polovin, což se využívá v případě potřeby opravy jedné z turbín a rovněž během odstávek bloku. Při odstávce bloku zůstává jedna polovina vyčleněna pro dochlazování reaktoru a je trvale v provozu, druhá polovina je předána k údržbě nebo proplachům a je mimo provoz. V průběhu odstávky lze obě poloviny mezi sebou tzv. přemanipulovat a provést tak postupně údržbu na celém sekundárním okruhu.

10.1.1 Hlavní parní kolektor a parovody k turbínám

10.1.1.1 Vazby a propojení hlavního parního kolektoru

Hlavní parní kolektor je koncipován jako sběrnice šesti parovodů z jednotlivých parogenerátorů, přičemž je třemi sekčními rychločinnými pneumatickými armaturami rozdělen na dva polokolektory pro sběr páry z lichých a sudých parogenerátorů. Výstupem páry jsou dvě dvojice hlavních parovodů, vedoucích ke dvěma turbogenerátorům. Dále je na každém polokolektoru osazena přepouštěcí stanice do atmosféry, což je regulační elektroarmatura s ovládacími obvody pro odvod páry v abnormálních a havarijních režimech.

Z hlavního parního kolektoru jsou vyvedeny dvě redukční stanice páry pro napájení pomocného kolektoru 0,7 MPa a dvě redukční stanice dochlazování jako propojení do systému technologických kondenzátorů (dochlazování bloku)

10.1.1.2 Funkce hlavního parního kolektoru

Systém hlavního parního kolektoru v sekundární části slouží k propojení parní strany parogenerátorů se zařízením sekundárního okruhu. Je hlavním vysokokapacitním prostředkem, který slouží k odvodu tepelné energie z parogenerátorů v úrovni DiD 1 a DiD 2 a její rozvod do projektem určených míst na hlavní a pomocné spotřebiče. Hlavní parní kolektor má i bezpečnostní funkci v úrovni DiD 3, a to automatickou izolaci velkého parního úniku při porušení části parního propojení a odvod tepla v havarijním režimu.

Hlavními funkcemi hlavního parního kolektoru jsou tyto:

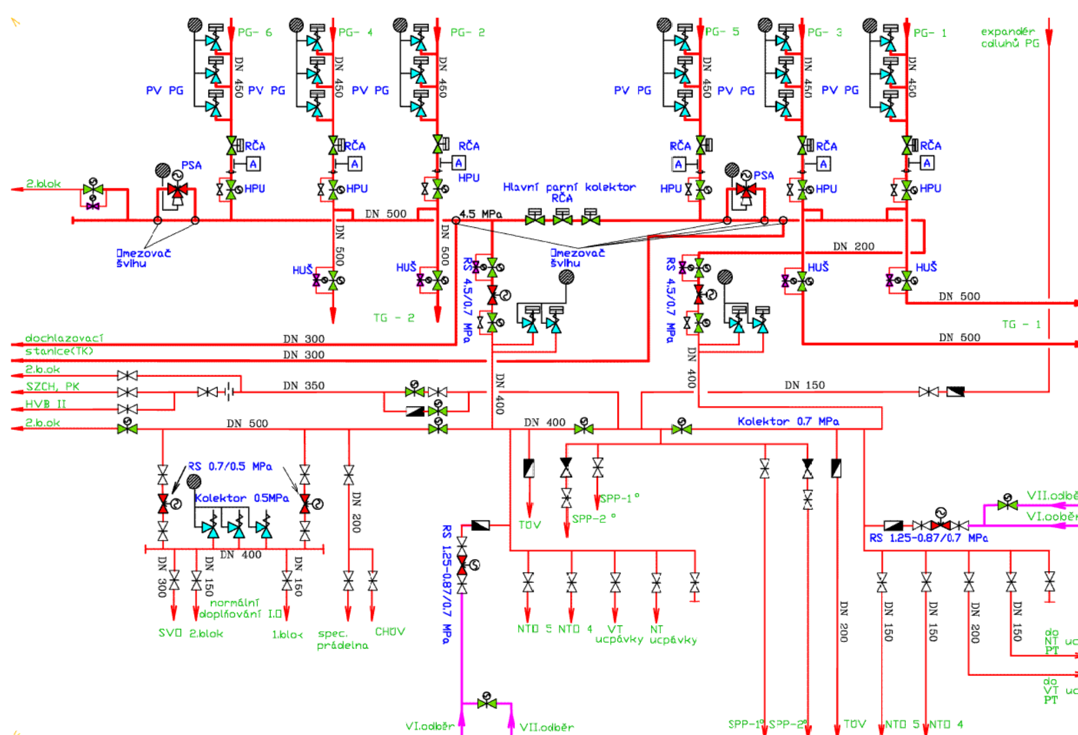
- Propojení parovodů z důvodu vyrovnání tlakových poměrů před oběma turbogenerátory v případě nesymetrického zatížení (DiD 1 a DiD 2)
- Zásobování redukčních stanic pro páru vlastní spotřeby, tedy pro pomocný parní kolektor 0,7 MPa (DiD 1 a DiD 2)
- Dochlazování bloku v parním a vodním režimu (DiD 1 a DiD 2)

- Odvod tepla z primárního okruhu v případě některých iniciačních událostí (DiD 3)[14]
- Izolace parního úniku při poruše na jedné polovině parního propojení při spolupráci s akčními členy na jednotlivých parovodech (DiD 3)
- Diverzní odvod tepla z primárního okruhu ručním ovládáním přepouštěcích stanic do atmosféry (DiD 4)

Na hlavní parní kolektor navazují dvě dvojice parovodů, vedoucích k jednotlivým turbogenerátorům. Tyto parovody jsou osazeny velkými elektroarmaturami s malými obtoky (hlavní parní uzávěry). Funkce hlavních parních uzávěrů jsou dvě:

- Oddělení turbogenerátoru v případě potřeby jeho zajištění pro údržbu nebo při dochlazování ve vodním režimu (DiD 1)
- Náhřev parovodů k turbogenerátorům a bloku rychlozávěrných ventilů při najíždění bloku po odstávce (DiD 1)

V normálním provozním režimu je hlavní parní kolektor provozován jako jeden celek, sekční armatury, oddělující oba polokolektory jsou otevřené. Tak je zajištěno plnění první funkce vyrovnání tlaků v celém hlavním parním kolektoru. Redukční stanice do kolektoru 0,7 MPa jsou provozovány v pohotovostním režimu, přičemž kolektor 0,7 MPa je zásobován z 6. nebo 7. odběru turbogenerátoru přes vlastní redukční stanici. Při snížení výkonu turbíny pak dojde k poklesu tlaku v odběrech a zásobování kolektoru 0,7 MPa přechází na redukční stanice z hlavního parního kolektoru. Redukční stanice dochlazování jsou provozovány rovněž v pohotovostním režimu, přičemž jejich funkce je vyžadována pouze v případě odstavení a dochlazování bloku.



Obr. 126. Parní propojení sekundárního okruhu

[14] Použití hlavního parního kolektoru a přepouštěcích stanic do atmosféry je rovněž součástí některých strategií pro těžké havárie (DiD 4)

10.1.2 Turbogenerátor a separace páry

10.1.2.1 Vazby a propojení turbogenerátoru a separace páry

Turbogenerátor navazuje na dvojici parovodů z hlavního parního kolektoru dvěma bloky rychlozávěrných ventilů, které slouží jako uzavírací a regulační orgán průtoku páry na vstupu do vysokotlakého dílu turbíny. Pára z výstupu vysokotlakého dílu turbíny vstupuje do separátoru vlhkosti a dvoustupňového přehřívače páry, kde se snižuje její vlhkost a zvyšuje teplota ohřevem pomocí odběrové páry ze 7. a 8. odběru. Dále pára vstupuje do dvou nízkotlakých dílů přes rychlozávěrné a regulační klapky. Na nízkotlaké díly navazuje hlavní dvojtlaký kondenzátor, který je proveden jako dva jednotlivé díly, které jsou na straně cirkulační chladicí vody provedeny jako jednotahové a řazené v sérii. Zkondenzovaná pára z hlavního kondenzátoru je vedena dále jako hlavní kondenzát.

Na turbínu navazuje přes spojku generátor, takže vysokotlaký rotor, oba nízkotlaké rotory a rotor generátoru tvoří jeden mechanický celek. Generátor a jeho vazby po stránce elektro jsou částí kapitoly Error: Reference source not found.

Na turbínu navazují propojení odběrové páry do dalších spotřebičů. Neregulované odběry jsou provedeny mezi jednotlivými stupni jak vysokotlaké tak nízkotlaké části a pára z odběrů je použita:

- V separátorech – přehřívácích
- V nízkotlaké regeneraci
- Ve vysokotlaké regeneraci
- V redukční stanici kolektoru 0,7 MPa
- Ve výměníkové stanici pro vytápění objektů

Na turbogenerátor navazují další pomocné systémy, potřebné pro zajištění jejich chodu. Je to zejména olejové hospodářství, vodíkové hospodářství a vložený okruh chlazení generátoru.

Mezi blokem rychlozávěrných ventilů a hlavním kondenzátorem je obtoková trasa přepouštěcích stanic do kondenzátorů, což jsou hydraulické uzavírací a regulační orgány s vlastním regulačním obvodem. Přepouštěcí stanice slouží k rychlému převedení páry mimo turbínu v případě jejího náhlého odlehčení nebo výpadku do té doby, než dojde automatickou činností hlavních regulátorů bloku k plynulému snížení výkonu reaktoru, odpovídající nové spotřebě páry v obou turbínách.

10.1.2.2 Funkce turbogenerátoru

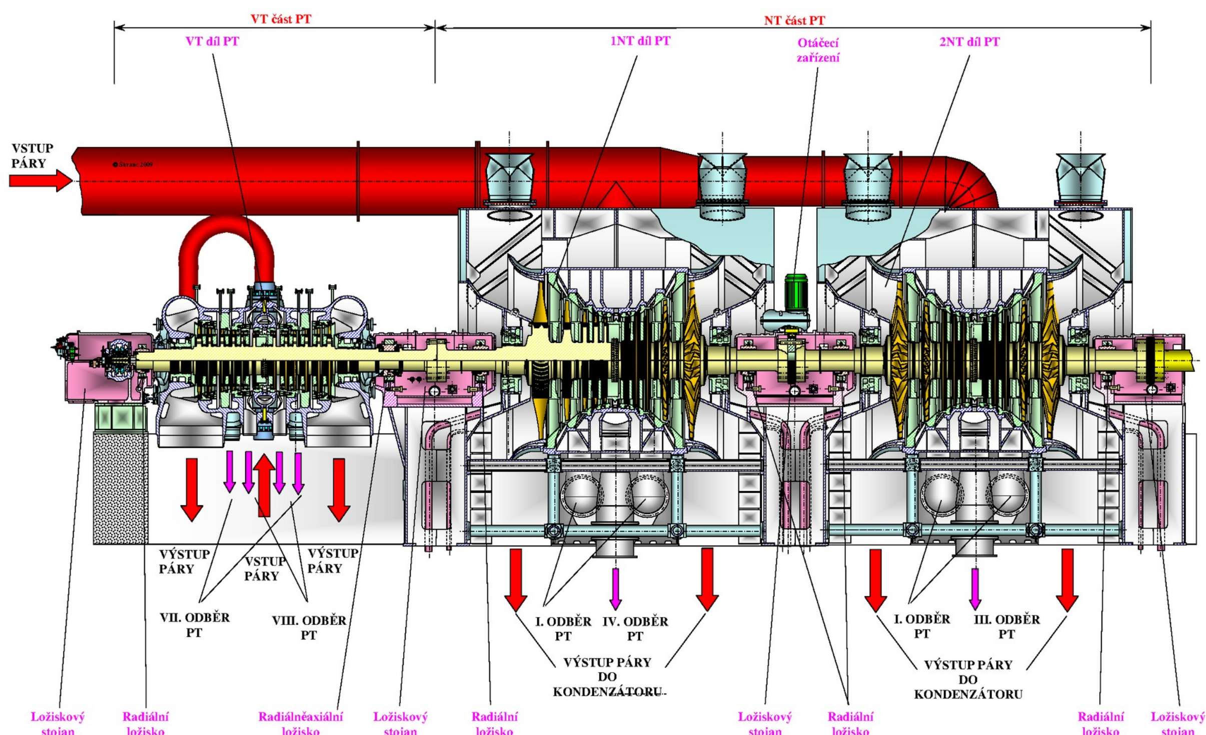
Turbogenerátor je určen k plnění základní funkce elektrárny, tedy k přeměně tepelné energie v mechanickou a dále elektrickou, která je hlavním výstupem celého cyklu.

Hlavní funkce turbogenerátoru jsou tyto:

- Přeměna tepelné energie páry v energii mechanickou (turbína) a elektrickou (generátor) - (DiD 1).
- Vychlazování bloku odvodem páry přes přepouštěcí stanice do kondenzátoru (DiD 1).
- Regulace výkonu na svorkách generátoru prostřednictvím regulačních orgánů turbíny (DiD 1 a DiD 2).
- Zajištění napájení vlastní spotřeby bloku při chodu na vlastní spotřebu (DiD 2).
- Řízení tlaku páry v hlavním parním kolektoru v přechodových režimech prostřednictvím přepouštěcích stanic do kondenzátoru (DiD 2).

V normálním provozu je turbogenerátor provozován na 100% výkonu, v případě požadavku na výkon nižší (tedy pokud blok pracuje v režimu regulace soustavy) na výkonu zadaném regulátorem. V provozu jsou všechny pomocné systému, tedy olejové hospodářství turbogenerátoru, systém ucpávkové páry, systém ucpávek a odvodnění, plynové hospodářství generátoru, systém ucpávkového oleje generátoru, systém statorové vody a vložený okruh chlazení generátoru. Turbína prostřednictvím

neregulovaných odběrů zásobuje párou separátory – přehřívače, nízkotlakou a vysokotlakou regeneraci, pomocný kolektor 0,7 MPa a v případě potřeby rovněž výměníkovou stanici pro vytápění objektů.



Obr. 127. Schématický obrázek TG EDU

10.1.3 Hlavní kondenzátory a kondenzace

10.1.3.1 Vazby a propojení hlavních kondenzátorů a kondenzace

Na dva nízkotlaké díly turbíny navazuje dvoutlaký hlavní kondenzátor Kondenzátor je proveden jako dva jednotlivé díly, které jsou na straně cirkulační chladící vody jednotahové a řazené za sebou. Chladící voda, ohřátá v prvním stupni je převáděna do druhého stupně. Absolutní tlak v parním prostoru prvního stupně při teplotě chladící vody 20 °C a nominálním výkonu je 4,9 kPa a ve druhém stupni 6,3 kPa. Sběrače kondenzátů obou stupňů jsou propojeny, takže tvoří spojité nádoby.

Aby nedocházelo postupně ke zhoršování vakua, jsou nezkondenzovatelné plyny jako přirozená součást páry z kondenzátoru odsávány. K tomu slouží vodoproudé vývěvy vždy s vlastním čerpadlem pracovní vody. Jako pracovní médium je použita cirkulační chladicí voda. Vývěvy jsou tři pro každou turbínu, dvě jsou pracovní a jedna rezervní s automatickým záskokem. Je-li třeba vakuum zrušit, otevírá se šoupátko rušiče vakua (propoj vnitřního prostoru kondenzátoru s atmosférou), které je umístěné na potrubí odsávání parovzdušné směsi z kondenzátoru k vývěvám.

Do kondenzátoru jsou zaústěny přepouštěcí stanice do kondenzátoru, které v případě náhlého odlehčení (snížení výkonu) nebo výpadku turbíny slouží k rychlému přepouštění nadbytečné páry přímo do kondenzátoru, přičemž tepelné parametry páry jsou sníženy redukcí tlaku a pomocí zástřiku kondenzátem. Součástí kondenzátoru je expandér provozních kondenzátů, do kterého jsou svedeny trasy z odvodnění části strojovny a pomocné trasy z expandérů v separaci, nízkotlaké regeneraci a vysokotlaké regeneraci.

Do kondenzátoru je zaústěna trasa pro provozní doplňování sekundárního okruhu demineralizovanou vodou k doplňování normálních ztrát z okruhu. Kondenzát je

z prostoru sběrače kondenzátu v kondenzátoru odčerpáván systémem kondenzátních čerpadel. Tento systém je dvoustupňový, přičemž každý stupeň obsahuje trojici paralelně řazených identických čerpadel kondenzátu. Mezi prvním a druhým stupněm kondenzátních čerpadel je zařazena bloková úprava kondenzátu, což je dvojice ionexových filtrů s obtokem, které lze připojit v případě zhoršení chemického režimu kondenzátu.

Na výtlaku kondenzátních čerpadel druhého stupně jsou regulační ventily pro řízení hladiny v hlavním kondenzátoru. Na regulační ventily navazuje nízkotlaká regenerace (ohřev) kondenzátu.

10.1.3.2 Funkce hlavních kondenzátorů a kondenzace

Kondenzace je určena k zajištění tepelného spádu na turbíně, tedy k odvodu velkého objemu nízkopotenciálního tepla do systému cirkulační chladicí vody, dále k dopravě vzniklého kondenzátu do navazující nízkotlaké regenerace a zvýšení tlaku kondenzátu na takovou hodnotu, aby při následném ohřevu byl kondenzát stále pod mezí sytosti.

Hlavní funkce systému kondenzace jsou tyto:

- Předání kondenzačního tepla z páry, vystupující z nízkotlakých dílů turbíny do okruhu cirkulační chladicí vody (DiD 1)
- Předání tepla z obtoků turbíny (přepouštěcí stanice do kondenzátoru) do systému cirkulační chladicí vody v přechodových režimech a abnormálních stavech (DiD 1, DiD 2)
- Zrychlení doběhu turbogenerátoru zvýšením ventilačních ztrát turbíny zavzdušněním kondenzátoru (DiD 2)
- Odsávání nezkondenzovatelných plynů, uvolněných z média sekundárního okruhu (DiD 1)
- Doplňování sekundárního okruhu médiem při jeho provozním úbytku (DiD 1, DiD 2)
- Sběr provozních kondenzátů ze sekundárního okruhu a jejich návrat do hlavního okruhu (DiD 1)
- Chemická úprava (čištění) kondenzátu v případě zhoršení chemického režimu (DiD 1)

V normálním provozu je kondenzace provozována s plně otevřeným průtokem cirkulační chladicí vody přes oba kondenzátory. V kondenzátoru je trvale udržován minimální tlak (tedy maximální vakuum) z důvodu vysoké efektivity parního cyklu. V provozu je dvojice vodoproudých vývěv (třetí vývěva je záložní). V provozu je rovněž paralelní dvojice kondenzátních čerpadel (třetí dvojice je záložní) a bloková úprava kondenzátu je vyřazena z činnosti obtokem (lze ji ručně připojit při požadavku na zlepšení chemického režimu kondenzátu). Konstantní hladina v kondenzátoru je udržována regulačními ventily na trase hlavního kondenzátu za kondenzátními čerpadly druhého stupně.

Obr. Xxx Kondenzace

10.1.4 Nízkotlaká regenerace

10.1.4.1 Vazby a propojení nízkotlaké regenerace

Ke každému turbogenerátoru přísluší jedna nízkotlaká regenerace, která navazuje na regulační ventily kondenzace příslušné turbíny. Kondenzát je ohříván odběrovou parou z turbíny v pěti nízkotlakých ohřívácích, které jsou vytápěny z 1. – 5. odběru turbíny, a je udržován pod mezí sytosti. V případě nízkého výkonu turbíny a nízkých parametrů páry v odběrech je možno dohřívat kondenzát ve čtvrtém a pátém nízkotlakém ohříváku pomocí páry z kolektoru 0,7 MPa. Kondenzát topné páry je z ohříváků vracen zpět do okruhu přes expandéry a podchlazovače buď pomocí podávacích čerpadel do hlavní trasy, nebo tlakovým spádem do expandéru provozních

kondenzátů. Pára z expandérů vyššího stupně je přiváděna do ohříváků nižšího stupně tak, aby bylo maximálně využito tepla z odběrů pro náhřev kondenzátu.

Nízkotlaká regenerace je rozdělena do tří skupin, přičemž v první skupině jsou ohříváky 1. a 2., ve druhé skupině ohříváky 3. a 4. a ve třetí skupině samostatný ohřívák 5. Každou z nich je možno v případě nutnosti odpojit a hlavní kondenzát převádět obtokem. V tomto případě dochází k potřebnému dohřevu buď na dalším stupni regenerace nebo v odplyňovačích napájecích nádrží, avšak při zhoršené účinnosti termického cyklu sekundárního okruhu.

Trasa hlavního kondenzátu z nízkotlakého ohříváku č. 5 je zavedena do odplyňovačů obou napájecích nádrží.

10.1.4.2 Funkce nízkotlaké regenerace

Hlavní funkce nízkotlaké regenerace jsou tyto:

- Regenerační ohřev kondenzátu za účelem zvýšení účinnosti tepelného cyklu sekundárního okruhu (DiD 1)
- Nahřívání média pro proplachy sekundárního okruhu po odstávkách (DiD 1)

V normálním provozu je kondenzát veden přes všechny ohříváky 1. – 5. a je předehříván na teplotu cca 144 °C. Pára z pomocného kolektoru 0,7 MPa na dohřev ohříváků 4. a 5. je uzavřena. Expandovaná pára z topného kondenzátu vyšších stupňů regenerace je vedena do ohříváku nižšího stupně. Kondenzát topné páry je čerpán pomocí podávacích čerpadel zpět do trasy hlavního kondenzátu a trasy do expandéru provozních kondenzátů v kondenzaci jsou uzavřeny.

Obr. Xx Nízkotlaká regenerace

10.1.5 Napájecí nádrže

10.1.5.1 Vazby a propojení napájecích nádrží

Systém napájecích nádrží slouží k vytvoření nezbytně nutné zásoby napájecí vody v sání hlavních a pomocných napájecích čerpadel, které dopravují napájecí vodu do parogenerátorů, k termickému odplynění a dohřátí kondenzátu dopravovaného do napájecích nádrží na teplotu 166 °C. Pro reaktorový blok jsou navrženy dvě napájecí nádrže identického provedení. Každá nádrž má v horní části dva odplyňovače horizontálního provedení, do kterých je zaveden dvěma kolektory kondenzát od obou turbogenerátorů. Napájecí nádrže jsou propojeny jak po vodní straně, tak po parní straně potrubními trasami, které jsou osazeny oddělovacími armaturami. Napájecí nádrže lze tedy od sebe oddělit.

Pro termické odplynění je použita pára z pomocného kolektoru 0,7 MPa, která je zavedena do trysek uvnitř odplyňovačů. Dále je pára z kolektoru 0,7 MPa zavedena do prostoru nad hladinu v nádrži, která slouží k vytvoření parního polštáře. Pro náhřev objemu napájecí nádrže během odstávky nebo náběhu bloku slouží trasa barbotáže, kdy je pára z kolektoru 0,7 MPa zavedena pod hladinu napájecí nádrže a umožňuje pozvolný náhřev objemu ze studeného stavu bez činnosti kondenzace a nízkotlaké regenerace. Paroplynná směs z odplyňovačů je odváděna přes škrticí ventily na střechu strojovny jako brýdová pára.

V soustavě napájecí nádrže a odplyňovače se termicky upravuje základní kondenzát a kondenzáty z odvodnění sekundárního okruhu na příslušné tlakové úrovni. Dále je do napájecí nádrže zavedena trasa kondenzátu topné páry ze separátoru – přehřívače, a separátu, tedy odseparované vody z páry mezi vysokotlakým a nízkotlakými díly turbíny. Po odplynění a dohřevu se z kondenzátu stává napájecí voda, která je svými parametry v nádrži na mezi sytosti. Napájecí voda je vedena dvojicí potrubí (z každé nádrže jedno) do sacího kolektoru pěti elektronapájecích (hlavních) čerpadel a dvou pomocných napájecích čerpadel. Fyzické umístění napájecích nádrží (podlaží +22,5 m) a sacího

kolektoru (podlaží 0 m) zajišťuje hydrostatickou výškou dostatečnou rezervu do sytosti vody v sání napájecích čerpadel tak, aby nedocházelo k jejich kavitaci.

Do napájecích nádrží jsou dále zavedeny trasy doplňovací demineralizované vody tzv. demivody z čerpadel 1 MPa, které slouží k doplňování vody přímo z nádrží demivody 1000 m^3 v případě odstavené kondenzace (odstávka nebo abnormální provoz). Dále jsou napájecí nádrže propojeny se systémem dochlazování bloku trasami do sání dochlazovacích čerpadel a trasami z jejich výtlaku. Pro provedení teplého proplachu vysokotlaké regenerace jsou do nádrží zavedeny trasy teplého proplachu z obou polovin hlavního napájecího kolektoru. Hladina vody v napájecích nádržích je regulována prostřednictvím doplňování demineralizované vody do hlavních kondenzátorů.

10.1.5.2 Funkce napájecích nádrží

Napájecí nádrže jsou určeny k dohřevu a vytvoření zásoby napájecí vody pro napájení parogenerátorů. V uzlu napájecích nádrží jsou po vodní straně propojeny oba turbogenerátory.

Hlavními funkcemi napájecích nádrží jsou:

- Udržení dostatečné zásoby vody pro napájení parogenerátorů (DiD 1, DiD 2)
- Dohřev napájecí vody na teplotu, dostatečnou pro napájení parogenerátorů (DiD 1, DiD 2) bez nepřiměřeného tepelného namáhání přívodních nátrubků parogenerátorů
- Odplynění napájecí vody pro zajištění chemického režimu (DiD1, DiD 2)
- Propojení vodní strany napájecích nádrží obou turbogenerátorů a umožnění provozu na jejich různém výkonu a tedy odlišném průtoku kondenzátu od jednotlivých turbín (DiD 1, DiD 2)
- Kompenzace objemu vody (zabránění tvrdému okruhu) ve fázi vodního režimu vychlazování se zaplněnými parogenerátory (DiD 1 – DiD 3)
- Rozdělení okruhu dochlazování na dvě poloviny při odstávce bloku (DiD 1)
- Ohřev napájecí vody pro plnění parogenerátorů při přechodu na vodní režim vychlazování (DiD 1, DiD 2)
- Ohřev a zásoba vody pro provedení proplachu vysokotlakých ohřívačů
- Udržení zásoby vody pro gravitační plnění parogenerátorů samospádem (DiD 4)

Napájecí nádrže jsou provozovány v režimu, který odpovídá stavu bloku. V případě provozu na výkonu jsou obě napájecí nádrže propojeny jak po vodní tak po parní straně a v nádržích je tak udržována stejná hladina i tlak. Kondenzát od obou turbín je přiváděn do všech čtyřech odplyňovačů na obou napájecích nádržích. Jsou otevřeny přívody páry do odplyňovačů a na parní polštář. Pára na barbotáž je uzavřena. Trasy ze separace, vysokotlaké regenerace i odvodnění vysokotlakých parovodů jsou otevřeny. Trasy k dochlazovacímu systému, doplňovací demivoda od čerpadel 1 MPa i trasy teplého proplachu jsou uzavřeny.

V případě režimu dochlazování bloku jsou napájecí nádrže odděleny, přičemž pro dochlazování se používá pouze jedna z nich. Tato nádrž je připojena jako kompenzátor objemu k systému dochlazování, který je provozován rovněž na jedné polovině strojovny (tedy přes jeden polokolektor hlavního parního kolektoru, systém dochlazování a jeden polokolektor hlavního napájecího kolektoru.

Obr. Xx Napájecí nádrže

10.1.6 Napájecí stanice

10.1.6.1 Vazby a propojení napájecí stanice

Napájecí stanice slouží k čerpání napájecí vody z napájecích nádrží do parogenerátorů. Výstup napájecí stanice je veden dvěma trasami přes dvě vysokotlaké

regenerace, příslušné k turbínám, a dále do hlavního napájecího kolektoru. Z něj pak vychází šest samostatných tras pro napájení parogenerátorů.

Napájecí stanice se skládá z pěti elektronapájecích čerpadel, které mají sání provedeno ze společného sacího kolektoru. Sací kolektor je z každé strany napojen potrubními trasami přes oddělovací armatury na spodní části obou napájecích nádrží. Na společný sací kolektor jsou rovněž napojena dvě pomocná napájecí čerpadla (viz kap. 6.5), která zajišťují napájení parogenerátorů při nízkých výkonech reaktoru nebo v abnormálních (případně i havarijních) stavech. Výtlaky hlavních napájecích čerpadel jsou zaústěny do společného výtlačného kolektoru, který je dále napojen na dvě vysokotlaké regenerace. Do výtlačného kolektoru jsou rovněž zaústěny dvě trasy z výtlaků dochlazovacích čerpadel, které slouží k dochlazování bloku ve vodo-vodním režimu a k teplému proplachu vysokotlaké regenerace.

Pomocná napájecí čerpadla pak mají své výtlaky zaústěny přímo do hlavního napájecího kolektoru a vysokotlakou regeneraci obcházejí.

10.1.6.2 Funkce napájecí stanice

Hlavními funkcemi napájecí stanice jsou:

- Doprava napájecí vody do parogenerátorů (DiD 1 až DiD 3)
- Zdroj tlakového média pro tlakové zkoušky sekundárního okruhu a parogenerátorů (DiD 1)

Napájecí stanice je provozována v režimu dle aktuálního výkonového stavu reaktoru, přičemž množství napájecí vody musí odpovídat potřebnému odvodu tepla z parogenerátorů. V nízkých výkonových stavech jsou tak provozovány jedno nebo obě pomocná napájecí čerpadla, při zvyšování výkonu jsou provozována hlavní napájecí čerpadla. Při 100% výkonu bloku jsou v provozu čtyři hlavní napájecí čerpadla, přičemž páté je používáno jako záloha. Pomocná napájecí čerpadla jsou v tomto režimu v záloze.

Obr. Xx Napájecí stanice

10.1.7 Vysokotlaká regenerace

10.1.7.1 Vazby a propojení vysokotlaké regenerace

Ke každému turbogenerátoru přísluší jedna vysokotlaká regenerace, která navazuje výtlačný kolektor napájecí stanice. Napájecí voda je ohřívána odběrovou parou z turbíny ve dvou vysokotlakých ohřívácích, které jsou vytápěny ze 7. a 8. odběru turbíny. V případě nízkého výkonu turbíny a nízkých parametrů páry v odběrech je vysokotlaká regenerace mimo provoz. Kondenzát topné páry je z ohříváků vracen zpět do okruhu přes expandéry a podchlazovače tlakovým spádem do napájecí nádrže nebo v případě nižšího výkonu turbogenerátoru tlakovým spádem do expandéru provozních kondenzátů. Vysokotlaká regenerace je vybavena obtokem, který umožňuje její vyřazení a napájecí voda je pak přímo vedena do hlavního napájecího kolektoru.

10.1.7.2 Funkce vysokotlaké regenerace

Hlavní funkce vysokotlaké regenerace jsou tyto:

- Regenerační ohřev napájecí vody za účelem zvýšení účinnosti tepelného cyklu sekundárního okruhu (DiD 1)
- Regenerační ohřev napájecí vody za účelem snížení teplotního namáhání kovu parogenerátorů (DiD 1)

V normálním provozu je napájecí voda vedena přes oba ohříváky a je předehřívána na teplotu cca 222 °C. Kondenzát topné páry je podáván přímo do napájecích nádrží a trasy do expandéru provozních kondenzátů v kondenzaci jsou uzavřeny.

Obr. XX Vysokotlaká regenerace

10.1.8 Hlavní napájecí kolektor

10.1.8.1 Vazby a propojení hlavního napájecího kolektoru

Výstupy z obou vysokotlakých regenerací jsou vedeny do společného hlavního napájecího kolektoru, který lze pomocí sekčních armatur rozdělit na dva polokolektory. Do obou polokolektorů jsou pak zaústěny výtlaky pomocných napájecích čerpadel. Z každého polokolektoru pak vede trojice tras s uzavíracími a regulačními armaturami, které slouží k napájení všech šesti parogenerátorů. Dále je na každý polokolektor napojena trasa teplého proplachu zpět do napájecí nádrže.

Trasy do parogenerátorů jsou provedeny jako paralelní řazení menší a větší trasy, osazené vždy uzavírací a regulační armaturou pro nízký a vysoký výkon (tzv. malé a velké napájecí hlavy), které jsou dále spojeny a trasa napájecí vody je osazena rychločinnou armaturou s elektrickým pohonem, sloužící k úplnému uzavření napájecí vody do parogenerátoru.

10.1.8.2 Funkce hlavního napájecího kolektoru

Hlavní funkce hlavního napájecího kolektoru jsou tyto:

- Vyrovnání tlaku napájecí vody před vstupem do tras k jednotlivým parogenerátorům (DiD 1)
- Rozdělení dochlazovacího okruhu na poloviny při odstávce reaktoru (DiD 1)
- Udržení celistvosti tlakového celku napájecí vody ve všech režimech napájení parogenerátorů (DiD 1 – DiD 3)

V normálním výkonovém provozu je hlavní napájecí kolektor provozován s otevřenými sekčními armaturami a napájení parogenerátorů probíhá přes velké napájecí hlavy. V případě odstávky je kolektor sekčními armaturami rozdělen a pro dochlazování bloku se používá jedna polovina okruhu. V případě teplého proplachu vysokotlaké regenerace je kolektor rozdělen, přes jednu polovinu strojovny (tj. jedna napájecí nádrž, jeden polokolektor hlavního parního kolektoru, polovina systému dochlazování, jeden polokolektor hlavního napájecího kolektoru a jeden až tři parogenerátory) probíhá trvale dochlazování bloku. Přes druhou polovinu je možno dělat teplý proplach vysokotlaké regenerace (ohřev vody v napájecí nádrži, jedno dochlazovací čerpadlo, výtlačný polokolektor hlavních napájecích čerpadel, vysokotlaká regenerace a přes trasu teplého proplachu zpět do napájecí nádrže).

Obr. Xx Hlavní napájecí kolektor

10.2 Turbogenerátor

Turbogenerátor je hlavní zařízení sekundárního okruhu, určené pro výrobu elektrické energie. Skládá se ze dvou funkčně odlišných celků:

- Turbína s příslušenstvím
- Generátor s příslušenstvím

Turbína i generátor jsou složité rotační stroje, které jsou spojeny přes pevnou přírubovou spojku rotorové soustavy v jeden funkční celek - turbogenerátor. Turbína slouží ke konverzi energie vodní páry vyrobené v parogenerátorech v mechanickou energii. Mechanická energie vyrobená turbínou je generátorem konvertována ve finální produkt elektrárny - elektrickou energii.

Pro provoz turbogenerátoru je důležitý provoz prakticky všech systémů sekundárního okruhu a celé řady systémů primárního okruhu. Turbogenerátor je projektován a koncipován tak, aby byla v maximální míře zajištěna jeho provozní bezpečnost a aby při normálním provozu nebo havarijních stavech turbogenerátoru nebyla ohrožena jaderná bezpečnost elektrárny. Klíčovým požadavkem na projekt a konstrukci turbogenerátoru je rovněž vysoká účinnost energetické přeměny a minimalizace ztrát.

10.2.1 Koncepce projektového řešení turbogenerátoru

Pro jeden reaktorový blok jsou k dispozici dva turbogenerátory s příslušenstvím, každý na 50 % nominálního výkonu reaktoru. Dispoziční umístění turbogenerátoru ve strojovně je provedeno tak, aby vyhovělo požadavkům bezpečnosti a spolehlivosti provozu. Dobrá přístupnost jeho jednotlivých zařízení umožňuje snadnou údržbu při provozu i v případě opravy. Turbogenerátor je ve strojovně umístěn tak, aby též vyhověl z hlediska požární ochrany.

Celý blok je projektován a koncipován tak, že v havarijních situacích není provoz turbogenerátor nutný pro bezpečné odstavení, dochlazení a dlouhodobé udržení reaktoru ve stavu bezpečného odstavení. Turbogenerátory jsou tedy projektovány tak, že jejich havarijní odstavení z libovolného provozního stavu (porucha provozu) nemá přímý vliv na jadernou bezpečnost elektrárny. Proto také většina zařízení turbogenerátoru včetně pomocných systémů, kromě zařízení a systémů chránících turbogenerátor proti poškození a zajišťující jeho bezpečnost, nemají žádný druh zajištěného elektrického napájení.

Turbogenerátor s příslušenstvím nepatří mezi seizmicky odolné a ani se neuvažuje s protiseizmickými opatřeními. Za normálního provozu nejsou v sekundárním okruhu obsaženy žádné radioaktivní látky a turbína ani pomocná zařízení turbíny nejsou kontaminovány. Úroveň radiace je kontrolována provozním měřením.

Turbogenerátor (TG) má ovšem rozhodující vliv na spolehlivost a provozuschopnost celého bloku. Každé odstavení turbogenerátoru jeho ochranou způsobí rychlé snížení výkonu reaktoru. Nouzové odstavení obou turbogenerátorů má za následek rychlé snížení výkonu reaktoru limitačním systémem. Při těchto stavech dochází ke zvýšenému čerpání životnosti reaktoru i celého bloku.

TG jsou opatřeny elektro-hydraulickým regulačním a řídicím systémem. Řídicí systém turbogenerátoru zajišťuje jeho bezpečné najíždění, provoz na jmenovitých parametrech i v přechodových režimech a plánované odstavení i odstavení při vzniku poruch a zapracování ochran.

10.2.2 Požadavky na zabezpečení turbogenerátoru

Zabezpečovací systém turbogenerátoru jaderných elektráren musí být proveden s koncepcí a prvky nejvyšší technické úrovně a s vysokou spolehlivostí. Toto musí být respektováno v předprojektové přípravě, projektu, při výrobě, montáži, uvádění do provozu, vlastním provozu i při údržbě zařízení.

Základními požadavky na systémy zabezpečení turbogenerátoru jsou tyto:

- Nesmí dojít k jejich aktivaci vnějšími nežádoucími vlivy a dle možnosti musí být vyloučeny nežádoucí falešné zásahy.
- Musí být umožněno prověřování funkční schopnosti jednotlivých okruhů systému za klidu i provozu turbogenerátoru podle platných pravidel a návodů.
- Zvláštní pozornost musí být věnována technologickému zařízení, které pracuje jako akční člen zabezpečovacího systému (plynulý chod vřeten rychlozávěrných a regulačních armatur, jejich těsnost apod.).
- Elektrické napájení musí být provedeno ze systémů 1. nebo 2. kategorie zajištěného napájení.
- Musí být dodrženy zásady ergonomie sdělovacích a ovládacích prvků turbogenerátoru (Man-Machine Interface)
- Jsou stanoveny požadavky na redundanci a verifikaci signálů a vyhodnocení zabezpečovaných veličin.
- Zabezpečovací systém musí být proveden tak, aby po jeho zásahu bylo možné stanovit priority zásahových signálů (tedy prvopříčinu výpadku turbogenerátoru).
- Zabezpečovací systém musí být vybaven dodatečným systémem výpisu průběhu hodnot důležitých veličin a binárních signálů během jeho působení.

10.2.3 Popis a vybrané funkce zabezpečovacího systému turbíny

Zabezpečovací systém turbíny plní funkci ochrany turbogenerátoru před poškozením v případě nepřípustné odchylky klíčových provozních parametrů (např. tlaku mazacího oleje turbogenerátoru), dále pak zajišťuje ochranu proti překročení maximálních povolených otáček soustrojí ve všech normálních i abnormálních stavech.

Zabezpečovací systém uzavírá vstup ostré páry z dvojice parovodů do vysokotlakého dílu prostřednictvím dvojice rychlozávěrných armatur. Tím odstavuje turbínu od hlavního přívodu páry. Dále zavírá vstupy páry ze separátorů-přehřívačů do nízkotlakých dílů turbíny, neboť v okamžiku impulsu na uzavření rychlozávěrných armatur dojde k odpojení generátoru od sítě a zbytkový objem páry v separátorech by způsobil zvýšení otáček odlehčeného soustrojí. Ze stejného důvodu jsou uzavírány zpětné odběrové klapky na neregulovaných odběrech, kde by zpětný tok páry z regenerace nebo separace mohl způsobit stejný efekt.

10.2.3.1 Rychlozávěrné zařízení

Rychlozávěrné zařízení ovládá rychlozávěrné armatury, regulační orgány na příslušných vstupech páry do turbíny a rovněž a zpětné odběrové klapky na výstupech páry z odběrů turbíny. Rychlozávěrné zařízení musí umožnit samočinné odstavení parní turbíny při:

- Působení vlastních ochran turbíny.
- Impulsu příslušných ochran strojního zařízení bloku.
- Impulsu příslušných ochran elektrozařízení.
- Zásahu na tlačítko „Odstavení turbíny“ na blokové dozorně.
- Ručním zásahu přímo na místě u turbíny.

Po zapůsobení rychlozávěrného zařízení musí být opětné najetí turbíny vázáno na ruční zásah, kterým se rychlozávěrné zařízení uvede do provozní polohy.

10.2.3.2 Rychlozávěrné orgány a regulační orgány

Rychlozávěrné orgány (armatury a klapky) musí po impulsu od rychlozávěrného zařízení na aktivaci bezpečně a rychle uzavřít přívod páry do turbíny. Zpětné odběrové klapky pak ze stejné příčiny musí uzavřít výstupy páry z odběrů turbíny pro zabránění zpětnému průtoku páry z regenerace nebo separace. Pokud je u rychlozávěrných armatur zařízení pro vyrovnání tlaků před a za rychlozávěrnou armaturou (pro snadnější otevření), musí bezpečně a rychle uzavřít přívod páry do turbíny ve všech případech, kdy uzavírá rychlozávěrná armatura.

Regulační orgány (armatury a klapky) jsou řazeny v sérii s rychlozávěrnými orgány na vstupech páry do vysokotlakého dílu i obou nízkotlakých dílů. V případě uzavření rychlozávěrných orgánů musí být uzavřeny i regulační orgány.

Rychlozávěrné a regulační orgány musí být provedeny tak, aby byla umožněna kontrola jejich pohyblivosti z plného otevření nejméně o čtvrtinu celého zdvihu za provozu turbíny na výkonu, přičemž turbína nesmí být touto zkouškou odstavena.

10.2.3.3 Ochrana vakua a parního prostoru kondenzátoru

Zařízení, které chrání výstupní část turbíny a kondenzátor proti zhoršení vakua, musí při dosažení jeho havarijní meze též blokovat otevření přepouštěcích stanic do kondenzátoru tak, aby nemohlo dojít k nepřípustnému nárůstu tlaku v kondenzátoru. Kondenzátor je rovněž vybaven pojistnými membránami, které jsou v případě nárůstu tlaku protrženy a mají tak funkci vysokoprůtokových pojistných ventilů.

10.2.4 Základní parametry a konstrukce turbogenerátoru

Parní turbína na sytou páru je typ ŠKODA K 220-44 – jaderná. Základní parametry jsou následující:

Jmenovitý výkon dle ČSN 08 0030	236 MW
Reálný výkon turbosoustrojí	249 MW
Jmenovité otáčky	3000 ot/min
Jmenovitý tlak páry těsně před vysokotlakými rychlozávěry	4,44 MPa
Jmenovitá teplota páry těsně před vysokotlakými rychlozávěry	256,7 °C
Hmotnostní průtok páry do vysokotlakého dílu	392 kg/s
Tlak na výstupu z vysokotlakého tělesa	0,478 MPa
Jmenovitý tlak páry před nízkotlakými rychlozávěrnými klapkami	0,435 MPa
Jmenovitá teplota páry před nízkotlakými rychlozávěrnými klapkami	210,6 °C

Generátor 250 MW je trojfázový, typu 2H 6688/2-VH s přímým chlazením statorového vinutí kondenzátem a okružním chlazením rotorů a statorových plechů vodíkem. Základní parametry jsou následující:

Jmenovitý činný výkon	255 MW
Jmenovitý zdánlivý výkon	300 MVA
Jmenovité otáčky	3000 ot/min
Jmenovitý účiník (cos ϕ)	0,85
Jmenovité napětí při jmenovitém výkonu	15,75 kV
Jmenovitý proud	10 997 A
Jmenovitý kmitočet	50 Hz

10.2.4.1 Konstrukce turbíny

Turbína je třítělesová. Sestává se z jednoho vysokotlakého a dvou nízkotlakých těles. Všechna tělesa jsou dvouproudová. Pára z vysokotlakého tělesa je odváděna ve dvou větvích přes separátory-přehříváky páry do nízkotlakých těles. Vysokotlaký díl je jednotělesový, dvouproudý má v každém proudu šest stupňů. Je použit radiální výstup páry směrem dolů. Turbinové těleso je horizontálně dělené na horní a spodní polovinu. Pro spojení těchto dvou částí je použito závrtných šroubů odolávajících vysokým teplotám. Přední část turbíny je dvouplášťové konstrukce v oblasti vstupu páry (vnitřní a vnější těleso). Pevný bod vnějších těles turbíny je na předním příčném mostu (mezi vysokotlakým dílem a prvním nízkotlakým dílem). Axiální ložisko je v zadním ložiskovém stojanu vysokotlakého dílu.

Vysokotlaký rotor je celokovaný a je spojen s hřídelem nízkotlakého dílu pomocí nakované spojky. Spojky jsou navrženy tak, aby vydržely namáhání při zkratu na výstupu generátoru. Lopatkování vysokotlakého rotoru je prostorově tvarované, frézované. Oběžné lopatky všech stupňů jsou v rotoru uchyceny pomocí vidličkových závěsů a jsou spojeny do svazků pomocí bandáží. Bandáže nejen spojují lopatky do svazků pro zvýšení tuhosti, ale také vytváří nadbandážovou ucpávku.

Pro rozváděcí kola je použita skládaná koncepce. Všechna rozváděcí kola a lopatky jsou vyrobeny z nerez oceli, lopatky jsou v discích a hlavách kol uchyceny pomocí kolíků. Pro všechny stupně jsou navrženy prostorově tvarované profily s minimalizovanými aerodynamickými ztrátami. Rozváděcí kola jsou horizontální rovinou rozdělena na horní a spodní polovinu. Kola mají možnost vystředění a přesného nastavení vůlí vnitřních ucpávek.

Všechny rotorové ucpávky jsou axiální labyrinty. Labyrintové kroužky jsou uložené v rozváděcích kolech a ucpávkových tělesech, která jsou centrována s turbinovým tělesem. Labyrintové kroužky jsou vyrobeny z nerezové oceli, rozděleny do šesti dílů a přitlačovány do pracovní polohy tlakem páry a silou plochých pružin. Na každém kroužku se střídají vyšší a nižší břity a společně s nákružky a výkružky na rotoru vytváří pravý labyrint.

Obr XX Řez vysokotlakým dílem turbíny

Dvouproudová nízkotlaká tělesa mají po pěti stupních v každém proudu. Tělesa jsou dvouplášťová, přičemž vnitřní těleso je kombinace svařence a odlitků. Spodek vnějšího tělesa je společný pro oba nízkotlaké díly. Skládá se ze tří příčných nosníků, které jsou uloženy na kozlících, zalitých do základu. K nosníkům jsou připojeny konzoly, na kterých je zavěšeno vnitřní těleso. Rozváděcí kolo posledního stupně je provedeno způsobem zajišťujícím odsávání vlhkosti z dutých rozváděcích lopatek. Pro zajištění možnosti delšího chodu "naprázdno" nebo "na vlastní spotřebu" je provedeno chlazení výstupní části NT těles, vstřikováním kondenzátu o teplotě cca 40 °C do prostoru za posledním stupněm.

Nízkotlaký rotor je vyroben z monoblokového výkovku včetně spojkových kotoučů. V každém proudu je pět stupňů oběžných lopatek se zkroucenými profily. Oběžné lopatky čtyř stupňů jsou uchyceny v rotoru pomocí vidličkových nožek. Oběžné lopatky posledního stupně mají obloukovou stromečkovou nožku. Oběžné lopatky prvních tří stupňů jsou opatřeny integrálními bandážemi. Bandáže slouží nejen ke zvýšení tuhosti oběžných lopatek ale také pro vytvoření nadbandážové ucpávky. Oběžné lopatky posledních dvou stupňů s transsonickými profily jsou volné, bez vazby. Oběžné lopatky posledního stupně mají délku 840 mm a jsou velmi robustní. Ochrana oběžných lopatek několika posledních NT stupňů proti erozi je provedena povrchovým kalením

Obr. XX Řez nízkotlakým dílem turbíny

10.2.4.2 Konstrukce generátoru

Generátor 255 MW je štítového provedení, tj. má vlastní ložiska uložená ve štítech statoru. Chlazení má kombinovaně vodíkové a vodní. Stator je z montážních a dopravních důvodů dělený na vnitřní a vnější těleso. Rotor generátoru je s rotorem turbíny spojený pevnou přírubovou spojkou.

Vnější těleso je děleno na čtyři části (z dopravních důvodů). Jeho střední část je složena ze dvou prstenců, které tvoří vlastní statorovou kostru. Kostra je na obou koncích uzavřená ocelovými štíty, které jsou konstrukčně řešeny jako svařovaná víka dělená ve vodorovné rovině. Do spodních polovin štítu je proveden přívod mazacího oleje a tlakového zvedacího oleje, používaného při rozběhu stroje. Příruby vyvedení vinutí, příruby potrubí chladící vody a vodíku a pomocné montážní otvory ve vnějším statorovém plášti jsou šroubované a v dělících rovinách těsněné proti úniku vodíku vyměnitelnými gumovými vložkami.

Vnitřní těleso je vytvořeno tak, že aktivní železo statoru je stažené šrouby po obvodě mezi dvě nemagnetické desky. Stahovací šrouby jsou součástí svařované konstrukce vnitřního tělesa generátoru, která s paketem plechů a statorovým vinutím tvoří samostatný montážní celek. Pro zamezení přenosu chvění, které vzniká v důsledku buzení od rotujícího magnetického pole rotoru, je vnitřní těleso uloženo ve vnějším tělese pomocí speciálního systému listových pružin.

Tyče statorového vinutí jsou vytvořené kombinací dutých a plných vodičů, které jsou přímo chlazené statorovou vodou (demivodou). Sběrná potrubí přívodu a odpadu statorové vody jsou umístěna na jedné straně uvnitř stroje. Spojovací pásy a průchodky statorového vinutí jsou též chlazeny vodou. Vnitřní okruh statorové vody je uzavřený, doplňovaný demivodou a čištěný v ionexových filtrech. Rozvod statorové vody je izolovaný od pláště statoru, aby bylo možno měřit izolační stav vinutí. Fázové vývody jsou upravené pro přímé napojení vodičů mezi generátorem a transformátorem v hliníkovém zapouzdření.

Průchodky 15,75 kV jsou díly statorů, které umožňují bezpečné vyvedení výkonu z generátoru a následné připojení k zapouzdřeným vývodům. Vzhledem ke značnému tepelnému namáhání je průchodka chlazena chladicí vodou z vinutí. Válcový konec průchodky je opatřen dvoudílným nástavcem vývodu, na kterém jsou přišroubovány pružné spojky pro spojení se zapouzdřenými vývody.

Rotor je vyrobený jako výkovek z chrom-nikl-molybden-vanadové ocele, na který jsou upevněny ostatní části, tj. obruč, náboj obruče, matice obruče, kompresorové kolo, klíny vinutí, vlastní vinutí, kryt ventilačních kanálů a kotouč spojky. Obruče nesoucí čela cívek rotorového vinutí jsou z nemagnetické oceli. Obruče jsou uložené letmo a axiálně pojištěné maticí. Vinutí rotoru je vyrobené z dutých vodičů z elektrolytické mědi, legované stříbrem. Vodiče mají obdélníkový průřez s eliptickou dutinkou uvnitř. Cívky vinutí rotoru jsou složené z půlzávitů, které jsou v čelech pájené. Rotorové radiální drážky pro uložení vinutí jsou po nalisování cívek uzavřeny bronzovými klíny lichoběžníkového průřezu. Izolace rotorového vinutí je ze skelného laminátu.

Buzení rotoru je provedeno pomocí dvou sběracích kroužků, nalisovaných na hřídel mimo hlavní statorové těleso. Přívod budícího proudu k vinutí rotoru prochází axiálním vývrtem rotorového čepu, který je těsněn proti úniku vodíku. Nad kroužky budícího proudu je umístěna skříňová nosná konstrukce kartáčů. Je řešená jako samostatná skříň s přívodem vzduchu a jeho rozvodem k aktivním plochám kroužků a kartáčů. Cirkulaci vzduchu zajišťují dva radiální ventilátory, umístěné na čepu rotoru vně kroužků.

Stator, statorové železo, čelní části statoru, rotor a rotorové vinutí je chlazeno tlakovým vodíkem. Cirkulaci vodíku uvnitř generátoru zajišťuje jednostupňový radiální kompresor s difuzérem. Kompresorové kolo je vyrobené nýtováním oběžných lopatek mezi nosný a lícní kotouč. Vodík proudí přes chladič, který je složený ze dvou částí, umístěných vertikálně v čelním prostoru statoru. Chladiče vodíku jsou chlazeny turbínovým kondenzátem (vloženým okruhem chlazení generátoru).

Systém mazacího, těsnícího a zvedacího oleje je společný s parní turbínou. Ložiskové pánve jsou uložené ve štítech a jsou izolované proti ložiskovým proudům. Komory rotorových ucpávek vodíku jsou připevněné ke štítům statoru a jsou spolu s potrubím těsnícího oleje izolované proti ložiskovým proudům.

Obr. XX Řez generátorem

10.2.4.3 Pomocné systémy turbogenerátoru

Olejový systém turbogenerátoru se skládá z okruhů mazacího, regulačního, těsnícího a zvedacího oleje. Turbosoustrojí má potřebné množství oleje shromážděno v hlavní olejové nádrži. Dodávku oleje za normálního provozu zajišťuje hlavní olejové čerpadlo na hřídeli turbíny. Část tohoto oleje se dodává do podávacího injektoru, který zajišťuje dopravu celého čerpaného množství do sání hlavního čerpadla s mírným přetlakem a zajišťuje tak spolehlivý chod hlavního čerpadla. Další část oleje je dodávána do regulačního okruhu turbogenerátoru. Zbývající množství oleje je přiváděno jako pracovní olej k mazacímu injektoru, který dodává mazací olej pro ložiska soustrojí. Při najíždění turbosoustrojí je tlakový olej (mazací a rozvodový) dodáván elektrickým najížděcím čerpadlem. Před uvedením natáčecího zařízení do provozu nebo pro doběh turbogenerátoru na nulové otáčky se přivádí do spodků ložiskových pánví tlakový zvedací olej o přetlaku cca 10 MPa, dodávaný zvedacími zubovými čerpadly. Systém je dále vybaven dvojicí stejnosměrných doběhových čerpadel, které jsou napájeny z 1. kategorie zajištěného napájení a zajišťují mazací olej pro doběh turbogenerátoru v případě ztráty všech zdrojů elektrického napájení bloku.

Rotor generátoru je těsněn proti úniku vodíku ucpávkami, které umožňují udržovat v generátoru přetlak vodíku 0,3 MPa. Do ucpávek jsou zavedeny dva těsnící oleje, jeden pro vodíkovou a druhý pro vzduchovou stranu ucpávek. Systém je konstruován tak, aby bylo zabráněno smísení vzduchu s vodíkem a vzniku hořlavé směsi.

K chlazení statorového vinutí generátoru slouží systém statorové vody a k chlazení vinutí rotoru a statorových plechů uvnitř generátoru tlakový vodík, jehož cirkulaci uvnitř generátoru a přes chladič vodíku zajišťuje ventilátorové kolo umístěné na hřídeli generátoru. Jako chladící médium pro chladiče statorové vody a chladiče vodíku generátoru slouží vložený okruh chlazení generátoru. Cirkulaci statorové vody, která protéká dutými vodiči statorového vinutí, zajišťují dvě čerpadla statorové vody, přičemž jedno je pracovní a druhé rezervní.

Plynové hospodářství generátoru zajišťuje naplnění generátoru vodíkem, trvalý provoz s vodíkovou náplní a konečné vytěsnění vodíku nebo vzduchu z generátoru pomocí CO_2. Při nominálním provozu je generátor provozován s přetlakem vodíku ve stroji. Vzhledem k výbušnosti směsi vodíku a vzduchu v rozmezí od 4 do 74 % vodíku ve vzduchu, neplní se generátor vodíkem přímo, ale tak, že se z něho nejprve vytlačí vzduch pomocí CO_2 a teprve pak se nahrazuje CO_2 vodíkem, neboť směs vodíku a CO_2 je nevýbušná. Stejně je tomu i při vyprazdňování stroje, když se z vodíkové náplně přechází na vzduchovou. Při této manipulaci se vytlačí ze stroje vodík oxidem uhličitým a teprve pak je možno CO_2 nahradit vzduchem.

10.2.5 Elektrohydraulický regulační systém turbogenerátoru

Elektrohydraulický regulační systém slouží k regulaci dvojice turbín ŠKODA 220 MW na sytou páru, spolupracujících s tlakovodním reaktorem VVER 440. Obsahuje rovněž regulátor přepouštěcích stanic do kondenzátoru obou turbín, regulátory vysokotlaké a nízkotlaké ucpávkové páry a další obvody. Elektrohydraulický regulační systém se skládá ze dvou základních vzájemně spolupracujících částí – hydraulické a elektronické.

- Hydraulická část – obsahuje akční členy pro řízení turbogenerátoru, ve kterých se jako ovládací médium používá rozvodový olej

- Elektronická část – funkce elektronické části jsou implementovány jako tzv. technologické moduly řízení a zajišťují regulaci turbíny, přepouštěcích stanic do kondenzátoru, vysokotlaké a nízkotlaké ucpávkové páry, vyhodnocení teplotního namáhání rotoru turbíny a další.

Akční regulační prvky hydraulické části jsou připojeny na elektronický regulační systém se zdvojenými (redundantními) výstupními kanály, působícími na zdvojené elektrohydraulické převodníky. Systém umožňuje testování zásahu ochran až na magnety rychlozávěrů, aniž by došlo k odstavení turbogenerátoru.

10.2.5.1 Funkce jednotlivých částí regulátoru

Regulátory turbíny zajišťují regulaci výkonu turbogenerátoru, tlaku páry v hlavním parním kolektoru a ruční ovládání ventilů. Jsou doplněny zabezpečovacím zařízením proti nadměrnému poklesu nebo stoupnutí tlaku páry před turbogenerátorem (korektor tlaku), proti nadměrnému zvýšení tlaku páry v kondenzátoru TG, proti nadměrnému poklesu nebo stoupnutí frekvence v elektrizační síti. Do obvodů regulace jsou také zavedeny vstupy od ochran. Regulace turbíny je realizována regulačními ventily turbogenerátoru.

Regulátory přepouštěcích stanic do kondenzátoru zajišťují regulaci tlaku páry v hlavním parním kolektoru na konstantní hodnotu při stoupnutí tlaku páry nebo při výpadku turbogenerátoru. Regulace přepouštěcích stanic do kondenzátoru je realizována jejich regulačními ventily.

Funkce ovládací logiky zajišťují propojení a řízení všech obvodů elektrohydraulického regulačního systému a jejich ruční ovládání z blokové dozorny nebo řízení z nadřazeného řídicího systému.

10.2.5.2 Ostatní zařízení pro regulaci

Číslicový otáčkoměr vyhodnocuje na digitálním principu střední hodnotu otáček rotoru turbogenerátoru, přičemž porovnává okamžité otáčky a v případě překročení požadované hodnoty působí do ochran turbogenerátoru (elektronická nadotáčková ochrana). Má rovněž paměťové funkce pro zápis hodnoty otáček při zapracování relé pojistného zařízení hydraulické regulace (hydraulická nadotáčková ochrana).

Funkce vyhodnocování teplotního namáhání zajišťují vyhodnocení skutečného teplotního namáhání v kritickém místě vysokotlakého dílu turbíny a generování jeho dovolené hodnoty. Dle velikosti dovolené hodnoty je řízen výkon turbogenerátoru.

Regulátory tlaku vysokotlaké a nízkotlaké ucpávkové páry slouží k regulaci tlaku páry v prostoru ucpávek, přičemž nemají žádný přímý vliv na regulaci výkonu nebo tlaku páry v hlavním parním kolektoru, avšak zajišťují svou činností optimální režim provozu z pohledu ekonomie.

10.2.6 Provozní režimy turbogenerátoru

10.2.6.1 Najíždění a odstavení turbogenerátoru (DiD 1)

Najíždění je pokládáno za přechodový stav. Pro bezpečné najetí TG je třeba věnovat zařízení zvýšenou pozornost. Při najíždění se mění parametry na různých místech turbínových částí nestejně. Proto musí být důsledně dodržovány dané provozní pokyny, aby nedošlo k překročení dovolených maximálních teplot, tlaků, teplotních diferencí atd.

Najíždění je prováděno podle univerzálního najížděcího diagramu, který umožňuje optimální a bezpečné najetí turbíny ze studeného i teplého stavu. Při tom je třeba zdůraznit, že obsluha turbíny musí v mimořádných případech jednat samostatně. Dokonalá znalost základních pravidel, doplněná provozní praxí, umožní obsluhujícímu personálu řešit zdárně všechny provozní situace. Proto je pro obsluhu turbogenerátoru vyžadována vysoká kvalifikace, která musí být prokázána přezkoušením a vydáním oprávnění k manipulaci.

10.2.6.2 Normální provoz turbogenerátoru (DiD 1)

V průběhu normálního provozu turbogenerátoru jsou všechny hlavní i pomocné systémy v provozu, regulátory udržují regulované veličiny v nastavených mezích a hlavní regulátory bloku udržují soulad mezi výkonem reaktoru a výkony obou turbogenerátorů. Obsluha provádí nepřetržitý dohled nad činností celého soustrojí i ostatních systémů a pravidelně vyhodnocuje případné odchylky od normální situace, které neprodleně řeší. V případě odchylky, která překročí povolené meze, je obsluha povinna turbogenerátor odstavit. Obsluha rovněž odstavuje turbogenerátor v případě jiného ohrožení jeho provozu, způsobeného mimo vlastní technologii externími vlivy.

10.2.6.3 Mimořádné provozní stavy (DiD 2)

V případě provozu turbogenerátoru mimo povolenou frekvenci je omezena doba, po kterou jej lze provozovat. Při překročení této doby je nutno turbogenerátor odstavit. Pokud dojde k výrazné odchylce frekvence od 50 Hz, přechází provoz bloku do režimu „Ostrovní provoz“. Pro řešení situace s výraznou odchylkou frekvence sítě je vypracován „Obranný plán proti šíření systémových poruch v ČEZ, a.s.“ a „Plán obnovy soustavy po poruše typu „Black out“, který definuje přehled principů, opatření a pravidel k této problematice.

Úkolem „Obranného plánu“ je v prvé řadě navrhnout a realizovat taková opatření, která by zamezila rozšíření poruchy a dále pak vedla ke zkrácení doby výpadku. Pět základních jevů, které ohrožují elektrizační soustavu, jsou frekvenční kolaps, ztráta synchronismu, kývání, přetížení a napěťový kolaps. Frekvenční kolaps je způsoben nedostatkem nebo přebytkem vyráběného výkonu v oddělené části nebo v celém systému společně s existencí nedostatečné primární regulační rezervy.

V elektrizační soustavě ČR může vzniknout celá řada oddělených ostrovů, a to buď pouze v ČR, nebo společných se soustavami sousedních států. Samostatný provoz elektrizační soustavy ČR může být rovněž v ostrovním režimu. Postup řízení situace v EDU pak navazuje na vytvořená frekvenční plán, který definuje činnost automatik ve spotřebě elektrizační soustavy (tzv. frekvenční odlehčování) a činnost automatik ve zdrojích (elektrárnách). Cílem frekvenčního plánu je včasnými zásahy do poruchového děje udržet provoz ostrovní sítě s elektrickými parametry (kmitočet, napětí), neohrožujícími provoz elektráren a zařízení sítě a umožňujícími rychlé opětné přifázování ostrova nebo elektráren k ostatní síti a tím rychlou likvidaci poruchy. Úplné zhroucení sítě však nelze nikdy plně vyloučit. Pro tyto případy je cílem frekvenčního plánu zachovat provoz rozhodujících elektráren na vlastní spotřebě.

Provoz turbogenerátoru na vlastní spotřebu je takový režim, kdy je blok oddělen od vnější sítě vypínačem 400 kV, reaktor i turbogenerátory pracují na sníženém výkonu a výroba elektrické energie je spotřebovávána pouze na vlastních spotřebičích elektrárny. V tomto režimu je pak blok připraven k přifázování zpět k soustavě, přičemž v případě EDU fázování probíhá na úrovni linky 400 kV.

10.2.7 Kontroly a diagnostika turbogenerátoru

10.2.7.1 Technické podmínky a materiálová specifikace

Pro rotory, hřídele, oběžná kola i oběžné lopatky jsou kromě norem ČSN obvykle také mezi výrobcem turbín a výrobcem hutních materiálů sjednány takzvané technické podmínky, které podrobně určují požadavky na výrobu a kontrolu příslušných částí (chemické složení a homogenita, výroba výkovku, tepelné zpracování, mechanické hodnoty, prováděné zkoušky, jejich odběr, způsob a interpretace, nedestruktivní defektoskopické kontroly, způsob, rozsah, vyhodnocení, přípustnost vad).

Normy ČSN jsou navíc doplňovány „Materiálovou specifikací“, zaměřenou na speciální výrobek (rotor, oběžné kolo, oběžná lopatka), kde jsou sjednány zpřesněné nebo speciální požadavky (oproti ČSN) na danou součást. Veškeré důležité součásti jsou

tedy atestovány a protokolovány z hlediska požadovaných materiálových vlastností. Vnitřní kvalita je porovnána s danými kritérii přípustnosti vad.

10.2.7.2 Diagnostika turbogenerátoru za chodu soustrojí

Turbogenerátor je velký točivý stroj, který je provozován na otáčkách 3000 ot/min. Vzhledem k velké hmotnosti rotujícího tělesa je třeba trvale sledovat chod soustrojí a vyhodnocovat jej, neboť v případě překročení povolených hodnot chvění by mohlo dojít k poškození rotujících částí nadměrnými vibracemi. Turbogenerátor je osazen trvalým měřením a vyhodnocením chvění soustrojí. Pokud dojde za chodu stroje k překročení povolených mezí chvění, je obsluha povinna turbogenerátor odstavit. Zvláštní význam má pak měření a sledování chvění v případě náběhu stroje na otáčky, kdy je nutno po dosažení provozních otáček sledovat ustálení chvění na přípustné hodnotě.

Dále je turbogenerátor vybaven měřením relativních posuvů rotoru vůči statoru. Posuvy jsou měřeny od společného pevného bodu statoru a rotoru, tedy od axiálního ložiska (mezi vysokotlakým a prvním nízkotlakým dílem). K posuvům dochází vlivem náhřevu (nebo ochlazování) statorů a rotorů během náběhu stroje, jeho odstavení nebo při výkonových změnách. Při nepřípustně velkém relativním posuvu může dojít k poškození břitových ucpávek nebo kontaktu rotujících oběžných kol s koly statorovými. Proto je v případě překročení nastavených mezí relativních posunů turbogenerátor odstaven ochranou.

10.2.7.3 Prováděné defektoskopické kontroly na turbogenerátorech EDU

Defektoskopické metody, používané pro kontrolu jednotlivých dílů, jsou následující:

- Vizuální kontrola
- Magnetická luminiscenční metoda
- Ultrazvuková metoda

Metody jsou vhodně kombinovány tak, aby byly včas indikovány trhliny v materiálu, jeho deformace, jeho koroze a eroze. Kontrolovány jsou všechny části, které mohou mít vliv na bezpečný provoz turbosoustrojí. Jedná se o:

- Vysokotlaký rotor
- Vnitřní a vnější vysokotlaké těleso
- Vysokotlaká rozváděcí kola
- Vnitřní nízkotlaké těleso
- Nízkotlaké rotory
- Nízkotlaká rozváděcí kola
- Ložiska

Kontroly jsou standardně vykonávány při otevřeném stroji během odstávky. Jsou však vybaveny i přístupovými místy pro endoskopické vizuální kontroly bez demontáže stroje.

10.2.7.4 Provozní diagnostika turbogenerátoru

Velice důležitý z hlediska bezpečnosti je fakt, že vznik trhliny v rotorech je obecně registrovatelný při sledování chvění turbosoustrojí. Šíření trhliny je charakterizováno zvyšováním chvění za provozu a vznikem subharmonických a harmonických složek. Sledováním změn úrovně vibrací lze detekovat vznikající trhlinu rotoru ve stadiu, kdy ještě neohrožuje bezpečnost. Je známo, že k porušení integrity rotoru nemůže dojít náhle. Začátek je vždy v mikrotrhlině, která se postupně rozvíjí, až dosáhne své kritické velikosti. Tento proces může trvat měsíce či roky.

Proto jsou sledovány a systematicky vyhodnocovány naměřené hodnoty vibrací instalovaného vibrodiagnostického systému, který umožňuje monitorování amplitud a fází harmonických a subharmonických složek vibrací a jejich časové změny.

V rámci diagnostiky jsou sledovány:

- **Celková úroveň vibrací (suma)** - příznakem jsou atypické změny, neočekávané z hlediska změn provozních podmínek a času.
- **Otáčková složka (1. harmonická)** – příznakem jsou atypické změny amplitudy, fáze a citlivost na různé provozní stavy.
- **Dvojnásobná složka (2. harmonická)** - s rozvojem trhliny v čase, při konstantních otáčkách rotoru, roste její úroveň a dochází k fázovému posuvu.
- **3. harmonická a vyšší otáčkové složky** - napomáhají při vyhodnocování změn druhé harmonické.

10.2.7.5 Provozní kontroly generátoru

Z hlediska zajištění integrity rotoru generátoru jsou dále kontrolovány:

- vyhřátí a uvolnění (posuv) krycích klínů vinutí
- místní vyhřátí krycích obručí vinutí
- vady (krycích) obručí vinutí
- vady matic a nábojů obručí
- stav ventilátorového kola, jeho lopatek a usazení na hřídeli
- stav a pojištění vyvažovacích závaží
- sběrací kroužky
- stav a usazení kotouče spojky
- stav ložiskových čepů

Z hlediska bezpečného provozu generátoru je třeba věnovat velkou pozornost kontrole obručí generátoru. Tyto kontroly jsou prováděny kapilární zkouškou obručí a matic při vyjmutém rotoru z generátoru. Lze použít i ultrazvukovou kontrolu na nedemontovaném rotoru.

10.2.8 Hodnocení provozu turbogenerátoru a připravenost na další provoz

Dosavadní provoz systému TG je spolehlivý, bezpečný a bez poruch, které by mohly zásadně ovlivnit bezpečnost a provozuschopnost bloku. V případě výskytu poruch, vedoucích k odstavení TG, nebo k odpojení generátoru od sítě, což jsou nejzávažnější poruchy ovlivňující provoz bloku, byly tyto analyzovány a jsou přijímány taková opatření, aby se jejich výskytu zamezilo úplně, nebo se vyskytovaly minimálně.

10.2.8.1 Hlavní provedené modifikace za 30 let provozu

V průběhu provozu EDU nebyly na systému provedeny žádné modifikace, které by měnily původní projektovou logiku funkce systému. Důvodem pro modifikace bylo především trvalé zvyšování spolehlivosti systému a výměna komponent s vyčerpanou životností. U vyměňovaných komponent bylo počítáno se zvyšováním výkonu bloků EDU až na současnou hodnotu 500 MW/blok a jsou tak dostatečně a s rezervou dimenzovány. Byly použity nové poznatky aplikovaného a průmyslového výzkumu, takže některé součásti či komponenty byly vyměněny za nové s pokročilejší funkcí.

Dále jsou uvedeny pouze významné zásahy či modifikace.

- Rekonstrukce kondenzátorů turbín – záměna trubkovnic z mosazných za titanové.
- Rekonstrukce separátorů – přehřívačů (prodloužení životnosti)
- Změna chemického režimu (zvýšení pH) média strojovny (snížení koroze a eroze)
- Záměna budicích soustav generátorů
- Výměna průtočných částí vysokotlakých dílů a vysokotlakých rotorů turbín
- Výměna průtočných částí nízkotlakých dílů a nízkotlakých rotorů turbín
- Úprava statorů generátorů pro zvýšený výkon bloku
- Úprava rotorů generátorů a výměna vinutí
- Zvýšení hltnosti přepouštěcích stanic do kondenzátoru

10.2.8.2 Životnost zařízení

V daném systému je omezený počet uvažovaných provozních režimů pouze u turbíny. Ostatní zařízení systému omezený počet provozních režimů nemají. Není limitováno čerpání životnosti žádných armatur a potrubí ani příslušenství turbogenerátoru. K degradaci materiálu dochází pouze korozí a erozí. Skutečný stav a životnost se určuje pravidelnou kontrolou erozního a korozního poškození.

Pro nejvíce namáhané části armatur a příslušenství TG jsou objednány náhradní díly v takovém rozsahu, aby provoz zařízení byl udržen po celou dobu životnosti. Rovněž použití náhradních dílů v dosavadním provozu odpovídá projektované životnosti.

Bezpečný provoz systému je limitován počtem provozních hodin nízkotlakých rotorů turbín. Požadovaná životnost nízkotlakých rotorů (vyměněných v letech 2005 – 2008) je minimálně 200 000 provozních hodin, což zajišťuje jejich provozuschopnost minimálně do roku 2027 při umožnění periody velkých generálních oprav jednou za 8 let. Životnost vysokotlakých dílů je 280 000 provozních hodin, což po výměně zajišťuje jejich provozuschopnost minimálně do roku 2035.

10.2.8.3 Hodnocení systému z hlediska dalšího provozu

Vzhledem k vysokému opotřebení a vyčerpání pracovních hodin byly nízkotlaké rotory po 20 letech provozu nahrazeny novými, které již byly dimenzovány na podmínky zvýšeného výkonu 105 %. Z důvodu zvýšení výkonu byla realizovaná i náhrada vysokotlakých dílů, kde stav opotřebení původních komponent byl vyhovující a počet provozních hodin nebyl stanoven, nicméně posouzení průtočných částí pro podmínky zvýšeného výkonu jednoznačně doporučilo náhradu pro zvýšení hltnosti. Vzhledem k provedeným záměnám klíčových komponent turbosoustrojí za optimalizované komponenty pro provoz na zvýšeném výkonu lze po následujících minimálně 10 let předpokládat spolehlivý a bezpečný provozu systému.

10.3 Systém dodávky admisní páry

Systém dodávky admisní páry (páry určené k pohonu turbíny) je tvořen systémem potrubních tras, které navazují na parovody ze šestice parogenerátorů (hraničními armaturami jsou rychločinné pneumatické armatury na jednotlivých parovodech) a pokračují k turbogenerátorům hlavními parovody, přičemž systém končí bloky rychlozávěrných ventilů na turbogenerátorech. Další ohraničení systému jsou oddělovací armatury jednotlivých redukčních stanic, takže za systém dodávky admisní je považován potrubní celek s tlakem páry 4,4 MPa.

10.3.1 Účel systému dodávky admisní páry

Systém parního potrubí v sekundární části slouží k propojení parní strany parogenerátorů se zařízením sekundárního okruhu za účelem odvodu vyvíjené páry z parogenerátorů k turbínám a dalším zařízením sekundárního okruhu, v abnormálních a havarijních režimech pak k odvodu tepla z primárního okruhu a tím zajištění druhé základní bezpečnostní funkce „Odvod tepla z reaktoru a skladů vyhořelého paliva“ (viz kap. 1.2.3).

V případě normálního provozu (DiD 1) systém slouží k vyrovnání tlakových rozdílů mezi jednotlivými potrubními trasami, především pak šesticí parovodů z parogenerátorů a dvěma dvojicemi parovodů ke dvěma turbogenerátorům. Zároveň pak slouží k rozvodu páry k redukčním stanicím do pomocného kolektoru 0,7 MPa pro zásobování spotřebičů sekundárního i primárního okruhu párou vlastní spotřeby. V případě dochlazování bloku pak systém slouží k odvodu tepla z primárního okruhu a jeho dochlazení v parovodním a vodovodním režimu.

V případě abnormálního provozu (DiD 2) systém slouží rovněž k vyrovnání tlakových rozdílů mezi parogenerátory a parovody k turbínám, neboť v těchto případech je

předpokládána větší nesymetrie mezi vývinem páry a její spotřebou (např. výpadky turbogenerátorů nebo parogenerátorů). V případě ztráty odvodu tepla do turbogenerátorů (nebo přepouštěcích stanic do kondenzátorů) pak zajišťuje odvod tepla z aktivní zóny reaktoru přes přepouštěcí stanice do atmosféry.

V případě havárie (DiD 3) pak systém slouží k odvodu tepla z aktivní zóny reaktoru prostřednictvím parogenerátorů, a to v případě takových událostí, které dodatečný odvod tepla vyžadují (např. malá LOCA). Pro případ havárie systému samotného (událost „Roztržení hlavního parního kolektoru“) je systém vybaven sekčními oddělovacími armaturami, které jej rozdělí na dvě samostatné části a funkce odvodu tepla je zajištěna částí nepoškozenou.

10.3.2 Koncepce projektového řešení systému dodávky admisní páry

Systém dodávky admisní páry je součástí vnitřního spojovacího potrubí sekundárního okruhu. Vzhledem k tomu, že EDU je má oddělen primární okruh od sekundárního okruhu, je pára pro sekundární okruh vyráběna v šesti parogenerátorech, které jsou umístěny v hermetické zóně reaktorovny. Z každého parogenerátoru je vyvedeno potrubí, které prochází na podélnou etažérku hermetickými průchodkami z hermetické zóny boxu parogenerátorů do nehermetické zóny sekundární části. Za hermetickými průchodkami jsou na parním potrubí umístěny rychločinné armatury, napájené z jednotlivých divizí zajištěného napájení I. kategorie. Před rychločinnými armaturami jsou na každém parovodu tři impulsní pojistné ventily parogenerátorů, které tvoří s parogenerátory technologicky neoddělitelný celek a chrání jejich mechanickou integritu. Za rychločinnými armaturami jsou na parovodech umístěny dále ještě hlavní parní uzávěry. Za hlavními parními uzávěry je potrubí přivedeno do hlavního parního kolektoru.

Hlavní parní kolektor je rozdělený na dvě části trojicí oddělovacích rychločinných pneumatických šoupátek, napájených z jednotlivých divizí zajištěného napájení I. kategorie. Do každé části polokolektoru jsou propojeny parovody od tří parogenerátorů. Z každého polokolektoru vede dvojice hlavních parovodů, vedoucích k turbogenerátoru. Hlavní parovody jsou vybaveny elektrickými uzavíracími ventily s obtoky, nazývanými přehradní armatury. Přehradní armatury slouží k oddělení (zajištění) turbíny v případě potřeby její opravy, přičemž systém dodávky admisní páry a druhý turbogenerátor může zůstat v provozu při snížení výkonu reaktoru. Přehradní armatury rovněž slouží k oddělení hlavních parovodů v případě vodo-vodního režimu dochlazování bloku. Oba polokolektory jsou vybaveny přepouštěcími stanicemi do atmosféry, což jsou regulační elektroarmatury, napájené z I. kategorie zajištěného napájení. Přepouštěcí stanice do atmosféry jsou konstruovány tak, že je i bez elektrického napájení lze otevřít zásahem z místa (ručním kolem), přičemž elektropohon je v tomto případě mechanicky oddělen od strojní části armatury a přepouštěcí stanici lze otevřít i při trvalé poruše elektrického napájení nebo jejího regulátoru. Přepouštěcí stanice slouží k odvodu páry z hlavního parního kolektoru ve všech režimech, kdy je to potřebné.

Systém je projektován tak, aby byl maximálně odolný proti poruchám a umístěn tak, aby byl maximálně chráněn proti poškození. Pro případ gilotinového roztržení jsou vysokoenergetická potrubí páry osazena omezovači švihnutí, které mají za cíl zabránit poškození integrity okolních zařízení a stavebních částí přímým působením tryskajícího média a letících úlomků.

10.3.3 Provozní režimy systému dodávky admisní páry

10.3.3.1 <u>Normální provozní podmínky (DiD 1)</u>

Systém dodávky admisní páry je provozován několika způsoby.

Za výkonového provozu bloku pára z parogenerátorů dopravována příslušnými parovody, hlavním parním kolektorem a hlavními parovody k turbogenerátorům.

Všechny armatury po hlavní trase jsou otevřeny, sekční armatury mezi polokolektory jsou otevřeny, přepouštěcí stanice do atmosféry jsou uzavřeny a připraveny k provozu, redukční stanice pomocného kolektoru 0,7 MPa i redukční stanice dochlazování jsou uzavřeny a v činnosti je systém odvodnění hlavního parního kolektoru.

V případě odstávky a dochlazování bloku v parním režimu vychlazování je systém dodávky admisní páry provozován obdobným způsobem jako při výkonovém provozu, přičemž pára je odváděna přes redukční stanice do pomocného kolektoru 0,7 MPa nebo přes hlavní parovody na přepouštěcí stanice do kondenzátoru. V tomto režimu dochází k pomalému poklesu tlaku páry v systému, který odpovídá trendu dochlazování primárního okruhu, až k tlaku blízkému tlaku atmosférickému. Během snižování teploty primárního okruhu jsou postupně zaplňovány všechny parogenerátory prací pomocných napájecích čerpadel z napájecích nádrží až na maximální hladinu. Následně jsou uzavřeny přehradní armatury do parovodů turbogenerátorů. Dochlazovací čerpadlo má v tomto režimu sání připojeno na napájecí nádrže a jeho prací jsou zaplněny zbylé objemy parogenerátorů, parovody a celý hlavní parní kolektor. Po zaplnění okruhu je otevřena trasa přes redukční stanice dochlazování na technologické kondenzátory a do sání dochlazovacích čerpadel. Napájecí nádrž zůstává připojená k okruhu a funguje jako kompenzátor objemu. Tím je nastaven režim vodo-vodního dochlazování. Po úplném vychlazení primárního okruhu je hlavní parní kolektor rozdělen sekčními armaturami, jsou uzavřeny hlavní parní uzávěry na vybrané trojici parogenerátorů a odpovídající redukční stanice dochlazování. Dochlazování pak probíhá jen přes jednu polovinu hlavního parního kolektoru, druhý polokolektor (a příslušné parogenerátory) je možno vydrenážovat a uvolnit pro údržbu.

10.3.3.2 Abnormální provozní podmínky (DiD 2)

V případě abnormálního provozu je systém provozován obdobně, jako v případě normálních provozních podmínek. Lze předpokládat několik typických situací:

- Nesymetričnosti ve vývinu páry nebo její spotřebě (např. výpadek parogenerátoru nebo turbogenerátoru)
- Výpadek obou turbogenerátorů s rychlým poklesem výkonu reaktoru
- Výpadek jednoho či dvou turbogenerátorů a nezapracování přepouštěcích stanic do kondenzátoru (např. z důvodu ztráty vakua v kondenzátoru)
- Problémy s menším neřízeným únikem páry ze systému (buď porušení celistvosti zařízení, nebo neřízené částečné či úplné otevření přepouštěcích stanic, případně pojistných ventilů parogenerátorů), kdy nedochází k zapůsobení ochran ESFAS

V těchto situacích spočívá funkce systému dodávky admisní páry jednak ve vyrovnání tlakových poměrů v systému, jednak v řízení přetlaku v hlavním parním kolektoru prostřednictvím přepouštěcích stanic do atmosféry.

10.3.3.3 Havarijní podmínky (DiD 3)

V případě havarijních podmínek lze rozlišit dvě možné situace:

- Došlo k události, která způsobila aktivaci bezpečnostních systémů (např. LOCA) a systém admisní páry zůstal nepoškozen.
- Došlo k události na systému admisní páry, který vyvolal signál „roztržení parovodu“ nebo „roztržení hlavního parního kolektoru“.

V prvním případě je systém admisní páry provozován v režimu odvodu tepla z primárního okruhu. Tedy pokud to charakter havarijní události vyžaduje, neboť při dostatečně velkém úniku je již celé chlazení aktivní zóny prováděno před bezpečnostní systémy (kap. 6.3).

Ve druhém případě pak dojde k izolaci poškozeného místa rozdělením hlavního parního kolektoru a uzavřením příslušných rychločinných armatur na parovodech. Nepoškozená polovina hlavního parního kolektoru pak zůstává v provozu k odvodu tepla

z primárního okruhu, poškozená polovina je izolována od zdrojů páry a je tak zabráněno rychlému vychlazování primárního okruhu.

10.3.4 Bezpečnostní požadavky na systém dodávky admisní páry

10.3.4.1 Bezpečnostní klasifikace a kvalifikace

Systém je projektován tak, aby byl maximálně odolný proti poruchám a umístěn tak, aby byl maximálně možně chráněn proti poškození. EDU se nachází v oblasti seizmicky stabilní, kde se nepředpokládá takový stupeň zemětřesení, který by způsobil poškození důležitých částí elektrárny a ohrozil tak jadernou bezpečnost. Vybraná část potrubí včetně hraničních armatur od parogenerátorů po přehradní armatury parovodů k turbogenerátorům, oddělovací armatury redukční stanice dochlazování a redukční stanice pomocného kolektoru 0,7 MPa je seizmicky kvalifikovaná na hodnotu 0,1 g.

Z hlediska vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. je parní potrubí od parogenerátorů po rychločinné armatury (včetně) zařazeno do bezpečnostní třídy BT 2. Potrubí od rychločinných armatur, hlavní parní uzávěry, hlavní parní kolektor a parovody po přehradní armatury turbogenerátorů, redukční stanice dochlazování a redukční stanice pomocného kolektoru 0,7 MPa jsou zařazeny do bezpečnostní třídy BT 3. Přepouštěcí stanice do atmosféry mají elektrické zajištěné napájení I. kategorie. Armatury jsou zařazeny do bezpečnostní třídy BT 3.

Kvalifikace na podmínky prostředí se odvíjí od umístění konkrétního zařízení. Sledovanými parametry jsou teplota a relativní vlhkost atmosféry, přetlak po havárii, dávkový příkon, výška hladiny vody na podlaze a výskyt sprchování.

10.3.4.2 Ochrana proti interním a externím hazardům

Všechna zařízení systému admisní páry, umístěná na podélné etažérce podlaží +14,7 m jsou kvalifikována na drsné prostředí (HELB). Vysokoenergetická potrubí parovodů jsou v postulovaných místech osazena omezovači švihnutí. Co se týká odolnosti vůči ostatním externím rizikům, je systém umístěn ve stavebním objektu, který musí být odolný vůči těmto externím rizikům až do úrovně odpovídající periodicitě výskytu jednou za 10 000 let. Jedná se hlavně o zatížení větrem, sněhem, extrémními teplotami, odolnost vůči vnějším tlakovým vlnám a pádu referenčního letadla.

10.3.5 Hodnocení provozu systému dodávky admisní páry

10.3.5.1 Hlavní provedené modifikace za 30 let provozu

V průběhu provozu EDU nebyly na systému provedeny žádné modifikace, které by měnily původní projektovou logiku funkce systému. Důvodem pro modifikace bylo především trvalé zvyšování spolehlivosti systému a výměna komponent s vyčerpanou životností. U vyměňovaných komponent bylo počítáno se zvyšováním výkonu bloků EDU až na současnou hodnotu 500 MW/blok a jsou tak dostatečně a s rezervou dimenzovány. Byly použity nové poznatky aplikovaného a průmyslového výzkumu, takže některé součásti či komponenty byly vyměněny za nové s pokročilejší funkcí.

Dále jsou uvedeny pouze významné zásahy či modifikace.

- Realizace nového měření aktivity ostré páry na parovodech
- Doplnění omezovačů švihu u vysokoenergetických potrubí na postulovaných místech
- Zodolnění vybraných komponent na kvalifikaci prostředí HELB

10.3.5.2 Spolehlivost a životnost systému

Pravidelné kontroly a údržba (případně výměny) zajišťují, že životnost zařízení je na úrovni umožňující bezpečný provoz v souladu s projektem. U zařízení, která mají v technických podmínkách omezenou životnost, se před koncem jejich životnosti provede nahrazení novým, případně ekvivalentním zařízením. V případech kdy stav komponenty umožňuje její provoz i za plánovanou životnost je provedena validace technických podmínek a prodloužení její životnosti.

10.3.5.3 Funkční zkoušky a kontroly

Potrubí je kontrolováno a vyhodnocováno podle programu provozních kontrol. Při kontrole vybraných míst potrubí jsou používány následující metody kontroly:

- prozářením
- měření tloušťky stěny potrubí ultrazvukem

Kontrola prozářením se provádí podle norem ČSN EN, vyhodnocení výsledku podle předpisu pak porovnáním s výsledky předchozí kontroly nebo předprovozní kontroly. Kontrola tloušťky se provádí podle norem ČSN EN, vyhodnocení výsledku porovnáním s předepsanou minimální tloušťkou, stanovenou v individuálních programech zajištění jakosti.

Vybrané armatury jsou kontrolovány podle programu provozních kontrol. Kontrola je zaměřena na vytypované armatury a jejich důležité části. Při jejich kontrole se uplatňuje metoda vizuální. Kontrola je zaměřena na funkční části armatur, jako jsou:

- Vřeteno
- Části závěru.
- Dosedací plochy sedel a klínů.
- Kontrola funkce elektropohonu (otevřeno, zavřeno, plynulost chodu).

Armatury v systému admisní páry se periodicky zkouší zkouškou pohyblivosti a těsnosti, přepouštěcí stanice do atmosféry a pojistné ventily parogenerátorů se periodicky při odstávkách zkouší otevřením a profukem ostrou párou. Těsnost a pevnost potrubního systému je kontrolována těsnostní, případně pevnostní tlakovou zkouškou. Kontroly prováděné obslužným personálem jsou zaměřeny na kontrolu celistvosti a stavu zařízení a závěsů potrubí.

10.3.5.4 Hodnocení systému dodávky admisní páry z hlediska dalšího provozu

Systém dodávky admisní páry je po technické stránce spolehlivý bez větších závad. Drobné závady běžného charakteru nikdy neovlivnily jadernou bezpečnost bloku. Systém za nominálního provozu vyhovuje požadavkům spolehlivosti provozu. Na systém jsou aplikovány průběžně nové a ověřené poznatky z průmyslové praxe. Za současně přijatých a postupně realizovaných opatření a zachování stávajícího a nově zaváděného rozsahu řízení dopadů stárnutí a implementace doporučení, vyplývajících z jejich analýzy je systém schopen bezpečného a spolehlivého provozu minimálně po dobu dalších 10 let.

10.4 Ostatní zařízení systému konverze páry a energie

10.4.1 Hlavní kondenzátor a vakuový systém

10.4.1.1 Účel systému hlavního kondenzátoru a vakuového systému

Účelem systému hlavního kondenzátoru je vytvoření teplotního spádu na turbíně, aby byla umožněna její práce jako tepelného stroje. Vzhledem k tomu, že turbíny jsou kondenzační, je účelem minimalizace teploty studeného konce turbíny tak, aby účinnost soustrojí byla co největší a docházelo k maximálnímu využití potenciálu tepla

z primárního okruhu k výrobě elektrické energie. Vzhledem k tomu, že parní turbína jaderné elektrárny používá (ve srovnání s turbínou na klasické elektrárně) nižší vstupní parametry páry (páru sytou namísto páry přehřáté), jsou parametry tzv. studeného konce turbíny tou částí, která ovlivňuje ekonomii provozu významným způsobem.

10.4.1.2 Koncepce projektového řešení hlavního kondenzátoru a vakuového systému

Kondenzátor je z důvodu bezpečnosti provozu, s ohledem na dilataci a pro jednodušší montáž proveden jako dva jednotlaké kondenzátory. Obě tělesa kondenzátoru jsou na straně chladící vody jednotahová, řazená za sebou, to znamená, že celé průtočné množství cirkulační chladicí vody projde kondenzátorem jedné nízkotlaké části turbíny (1. stupeň) kde se ohřívá a následně je převáděno vnějším potrubím do kondenzátoru druhé nízkotlaké části turbíny (2. stupeň). Rozdílná teplota cirkulační chladicí vody v jedné a druhé části kondenzátoru způsobuje i rozdílné podtlaky na parních stranách kondenzátorů. Oba stupně kondenzátoru jsou na vodní straně dělené na dvě samostatné rozdělitelné poloviny (vnitřní a vnější řád cirkulační chladicí vody).

Teplosměnná plocha kondenzátorů je tvořena titanovými trubkami zaválcovanými a zavařenými do titanových trubkovnic. V určitých vzdálenostech jsou v parním prostoru zavařeny podpěrné stěny, které spolu s obvodovými výztuhami vyztužují plášť kondenzátoru a podpírají trubky. Trubky jsou svými konci prohnuty směrem dolů, aby bylo zaručeno jejich vyprazdňování. V plášti je zabudován kompenzační kus vyrovnávající axiální síly od tepelné dilatace trubek. Pod trubkovými svazky v obou stupních ve vrchní části sběrače kondenzátu je zabudováno zařízení pro dodatečnou redukci a rozvod páry, přepouštěné přepouštěcími stanicemi do kondenzátoru, která se před vstupem do kondenzátoru svlažuje vstřikovaným kondenzátem z výtlaku kondenzátních čerpadel 2°.

Součástí hlavního kondenzátoru je neoddělitelně propojený expandér provozních kondenzátů. Do expandéru jsou zavedeny trasy odvodnění parních potrubí sekundárního okruhu, přičemž systém odvodnění je provozován v automatickém režimu (bimetalové odvodňovače a odvodňovací elektroarmatury).

Aby nedocházelo postupně ke zhoršení vakua, jsou nekondenzovatelné plyny odsávány z kondenzátoru vývěvami. Vakuový systém zajišťuje odsávání nekondenzovatelných plynů z parního prostoru kondenzátoru pomocí vodoproudých vývěv. Pracovní vodu pro každou vývěvu dodává samostatné čerpadlo vývěv z jímky vývěv, na jejímž stropu jsou uloženy. Dvě krajní vývěvy jsou provozní a prostřední je záskoková pro obě provozní vývěvy. Potřebný výkon je dosahovaný pomocí jediného vodoproudého stupně, který má jako pracovní médium cirkulační vodu, dodávanou čerpadlem vývěvy. Pracovní voda ve směšovací komoře vodoproudé vývěvy nasává parovzdušnou směs z parního prostoru kondenzátoru a odvádí ji do jímky vývěv, odkud se pak dále odvádí výfukem na střechu strojovny. Jímka je jištěna proti přeplnění přepadem. Z důvodu možného výskytu radioaktivity páry při netěsnostech na trubkách parogenerátoru je celá jímka vývěv utěsněna a odvětrána na střechu strojovny, přičemž na odtahu z jímky jsou umístěna čidla pro měření aktivity páry.

Ucpávkový systém turbíny slouží k oddělení (utěsnění) pracovního prostoru uvnitř vysokotlakých a nízkotlakých dílů turbíny proti vnějšímu prostředí. U turbíny 220 MW Škoda jsou k tomuto účelu použity labyrintové ucpávky (ucpávky s řízenou netěsností). Zahlcování a odsávání ucpávek vysokotlakého tělesa turbíny tvoří vysokotlaký ucpávkový okruh. V tomto okruhu je automaticky regulačním systémem udržován mírný přetlak. Zahlcování ucpávek nízkotlakých těles tvoří nízkotlaký ucpávkový okruh, ve kterém je rovněž automaticky regulačním systémem udržován mírný přetlak. Aby žádná pára z ucpávek neunikala do strojovny, udržuje se ve vnějších (komínkových) prostorách ucpávek stálý mírný podtlak. Do komínkových prostorů je z vnější strany přisáván vzduch ze strojovny, z vnitřních prostor ucpávky pak pára. Tato parovzdušná směs je odsávána do kondenzátoru komínkových par, který je chlazen turbínovým kondenzátem.

Nezkondenzovaná parovzdušná směs je odsávána ventilátory komínkových par na střechu strojovny.

10.4.1.3 Provozní režimy hlavního kondenzátoru a vakuového systému

V parním prostoru kondenzátoru je za provozu vakuum, vytvořené kondenzací páry v důsledku odvodu tepla do cirkulační chladicí vody a držené vodoproudými vývěvami, kterými se odsávají z parního prostoru kondenzátoru nekondenzovatelné plyny. Je-li nutné vakuum zrušit, propojí se parní prostor s atmosférou otevřením rušiče vakua. Pro správnou činnost přepouštěcích stanic do kondenzátoru je nutné, aby v hlavním kondenzátoru bylo vakuum. V případě jeho ztráty jsou přepouštěcí stanice do kondenzátoru vyřazeny z provozu (jejich otevření je automaticky blokováno).

Doplňování ztrát kondenzátu v okruhu sekundární části je zajištěno vstřikem demivody normálního a zrychleného doplňování do nástavby parního prostoru kondenzátoru přes rozstřikovací trysky.

V jímce vývěv je udržována co nejnižší teplota pracovní vody. Aby se její teplota nezvyšovala, odvádí se z výtlaku jednotlivých čerpadel vývěv část oteplené pracovní vody do vratného řádu cirkulační chladicí vody. Nastavení odpouštěného množství je provedeno škrtící clonou. Současně se odpouštěné množství pracovní vody nahrazuje připouštěním studené cirkulační chladící vody z rozvodného řádu strojovny. Přítok chladící vody do jímky je řízen regulačním ventilem v závislosti na hladině v jímce vývěv.

Ucpávky nízkotlakých dílů turbíny jsou trvale zahlcovány ucpávkovou parou z odbočky 6.(7.) neregulovaného odběru turbíny pro redukční stanici pomocného kolektoru 0,7 MPa přes elektroarmaturu a regulační ventil. Ucpávky vysokotlakého dílu turbíny jsou při najíždění turbíny, kdy je uvnitř vysokotlakého dílu podtlak, zahlcovány přes uzavírací elektroarmaturu a regulační ventil vysokotlakou ucpávkovou parou, která je získávána ze stejného místa jako nízkotlaká ucpávková pára. Za normálního provozu, kdy je uvnitř vysokotlakého dílu přetlak, jsou vnitřní strany vysokotlaké ucpávky odsávány přes regulační ventil a elektroarmaturu do nízkotlakého ohříváku č. 2 nebo do expandéru provozních kondenzátů. Regulační ventily udržují ve vnitřní straně ucpávek v obou okruzích automaticky mírný přetlak, přičemž vnější strany ucpávek (komínkové prostory) jsou odsávány do kondenzátoru komínkových par.

10.4.1.4 Bezpečnostní požadavky na hlavní kondenzátor a vakuový systém

Kondenzátory ani jiné části vakuového systému nejsou bezpečnostním zařízením a nesouvisí s jadernou bezpečností. Během normálního provozu nejsou v sekundárním okruhu obsaženy žádné radioaktivní látky. V případě průniku radioaktivních látek do sekundárního okruhu (netěsností parogenerátoru) bude radioaktivní látky obsahovat i kondenzující pára a tyto radioaktivní látky by byly zjištěny monitorem radioaktivních látek na odtahu z jímky vývěv. Dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. nejsou kondenzátory ani jiné části vakuového systému zařazeny do žádné bezpečnostní třídy.

Pro zajištění bezpečného a spolehlivého provozu systému jsou prováděny provozní kontroly a zkoušky. V případě kondenzátoru jsou prováděny tlakové zkoušky parního i vodního prostoru. V průběhu provozu jsou prováděny zkoušky ochran a blokád systému. Dále je za provozu sledována a zkoušena vakuová těsnost kondenzátoru tzv. zkouškou poklesu vakua, při které se sleduje pokles vakua v hlavním kondenzátoru při odstaveném systému vodoproudých vývěv.

10.4.1.5 Hodnocení provozu hlavního kondenzátoru a vakuového systému

Na systémech byly ze předchozích 30 let provozu provedeny následující provedeny následující hlavní modifikace:

- Rekonstrukce hlavních kondenzátorů – záměna původně mosazných trubek za nové titanové trubky s titanovou trubkovnicí.

- Zrušení parního stupně vývěv (dle původního projektu byly vývěvy dvoustupňové)
- Zvýšení pH v sekundárním okruhu za účelem snížení eroze a koroze

Dosavadní provoz systému kondenzátorů turbogenerátorů a vakuového systému je spolehlivý, bezpečný a bez poruch, které by mohly zásadně ovlivnit bezpečnost a provozuschopnost bloku. Je možno předpokládat jeho další dlouhodobý bezporuchový provoz.

Výměna mosazných trubek kondenzátoru za titanové umožnila zvýšení pH v sekundárním okruhu. Vzhledem k lepší korozní a erozní odolnosti titanových trubek oproti původním mosazným bylo možno zmenšit tloušťku stěn titanových trubek a tím zlepšit celkový přestup tepla a zvýšit účinnost kondenzátoru.

V rámci provedené rekonstrukce hlavních kondenzátorů, kdy byly původní mosazné teplosměnné trubky nahrazeny titanovými, bylo již uvažováno s výkonovou rezervou pro zvýšení výkonu o 7 %. Nové výkonové ověřování kondenzátoru nebylo nutno provádět. V rámci projektové přípravy pro zvýšení výkonu bylo provedeno posouzení dimenzování kondenzátorů pro zvýšení hltnosti přepouštěcích stanic do kondenzátoru s vyhovujícím výsledkem bez nutnosti dalších úprav kondenzátorů ani navazujících systémů.

Za současně přijatých a postupně realizovaných opatření a zachování stávajícího a nově zaváděného rozsahu řízení dopadů stárnutí a implementace doporučení, vyplývajících z jejich analýzy je systém schopen bezpečného a spolehlivého provozu minimálně po dobu dalších 10 let.

10.4.2 Systém kondenzátu a napájecí vody

10.4.2.1 Účel systému kondenzátu a napájecí vody

Základním účelem systému kondenzátu a napájecí vody je spolehlivá dodávka napájecí vody pro parogenerátory o vyhovující kvalitě, teplotě, tlaku a průtoku. Z hlavního kondenzátoru, v kterém je vakuum a teplota cca 30 °C je třeba médium zpětně nahřát a natlakovat tak, aby jím bylo možno napájet parogenerátory (tedy vodou o teplotě cca 222 °C při tlaku větším, než 6 MPa). Účelem systému je tedy postupné zvyšování tlaku a regenerační ohřev vody a její termické odplynění.

10.4.2.2 Koncepce projektového řešení systému kondenzátu a napájecí vody

Turbínový kondenzát je pomocí dvoustupňových kondenzátních čerpadel dopravován ochozem úpravny turbínového kondenzátu (v případě požadavku na zlepšení chemického režimu přes úpravu) a nízkotlakou regeneraci do napájecí nádrže. Kondenzát je ohříván odběrovou parou v pěti nízkotlakých ohřívácích, odplyňovačích napájecích nádrží a ve dvou vysokotlakých ohřívácích. Do okruhu nízkotlaké regenerace je dále zapojen kondenzátor komínkové páry z ucpávek turbíny.

V napájecí nádrži se shromažďuje odplyněný kondenzát z nízkotlaké regenerace, kondenzát topné páry ze sběrače separátoru-přehřívače 1°, odseparovaný kondenzát ze separátoru, kondenzát topné páry z výstupu podchlazovače u vysokotlakých ohříváku 1° a odvodnění hlavních parovodů (vysokotlaké odlučovače).

Z napájecí nádrže sají přes sací kolektor napájecí vodu hlavní napájecí čerpadla nebo pomocná napájecí čerpadla, která jsou společná pro obě turbíny, a napájecí voda je dále vedena přes vysokotlakou regeneraci do hlavního napájecího kolektoru a k jednotlivým parogenerátorům. Z hlavního napájecího kolektoru vedou k jednotlivým parogenerátorům samostatné napájecí trasy (napájecí hlavy), které jsou vybaveny regulačními a uzavíracími armaturami (viz kap. 10.1.8).

10.4.2.3 Provozní režimy systému kondenzátu a napájecí vody

Během normálního provozu (DiD 1) pracují všechny komponenty systému, přičemž způsob jejich provozování závisí na výkonovém režimu bloku. Režimů a jejich kombinací je mnoho, zvláště pak během odstávek pro výměnu paliva. Dále jsou uvedeny pouze dva základní režimy pro práci bloku na vysokém a nízkém výkonu. Při 100% výkonu[15] pracuje okruh v následující konfiguraci:

- 2 pracující kondenzátní čerpadla 1. a 2. stupně (1 záložní)
- Bloková úprava kondenzátu provozována obtokem
- Všech 2 x 5 nízkotlakých ohříváků v provozu (dohřev vody na cca 144 °C)
- Obě napájecí nádrže propojeny a všechny odplyňovače v provozu (dohřev na cca 166 °C)
- 4 pracující hlavní napájecí čerpadla (1 záložní)
- Obě vysokotlaké regenerace v provozu (dohřev na cca 222 °C)
- Otevřeny velké napájecí hlavy do všech parogenerátorů

Při provozu na nízkém nebo nulovém výkonu reaktoru (DiD 1) je systém provozován tak, aby byla zajištěna minimální teplota vody do parogenerátorů a dostatečný průtok k odvodu tepla z aktivní zóny. V provozu je zpravidla pouze jedna větev systému, příslušející k jednomu turbogenerátoru. Konfigurace je pak následující:

- 1 pár pracujících kondenzátních čerpadel (s blokovou úpravou kondenzátu či bez).
- Dohřev v nízkotlaké regeneraci se provádí na ohřívácích 4 a 5 cizí parou z kolektoru 0,7 MPa.
- Napájecí nádrže propojeny nebo odděleny, odplyňovače v provozu dle potřeby (dohřev napájecí vody na 166 °C).
- V provozu jedno hlavní nebo jedno pomocné napájecí čerpadlo.
- Vysokotlaká regenerace odpojena.
- Hlavní napájecí kolektor propojen a otevřeny malé napájecí hlavy parogenerátorů.

Abnormální provoz (DiD 2) vede ke snížení výkonu reaktoru nebo k jeho odstavení, takže pro tyto stavy platí rámcově druhý uvedený způsob provozování systému. V případě jednotlivých iniciačních událostí však existuje řada odchylek, které jsou podrobně popsány v příslušných provozních předpisech.

10.4.2.4 Bezpečnostní požadavky na systém kondenzátu a napájecí vody

Kondenzátní čerpadla, nízkotlaká regenerace, hlavní napájecí čerpadla a příslušné potrubní trasy mezi těmito zařízeními nejsou zařazeny do žádné bezpečnostní třídy dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. Napájecí nádrže a sací kolektor hlavních napájecích čerpadel po první uzavírací armatury (včetně) jsou zařazeny do BT 3. Dále jsou zařazeny do BT 3 potrubní trasy od výtlačného kolektoru napájecích čerpadel (mimo VTO) přes hlavní napájecí kolektor a napájecí hlavy až po oddělující rychločinné elektroarmatury za napájecími hlavami, které jsou včetně navazujících potrubních tras zařazeny do BT 2. Zařízení systému, umístěná na podélné etažérce podlaží +14,7 m a podléhající bezpečnostní klasifikaci, jsou kvalifikována na okolní prostředí HELB.

Zkoušky a kontroly se provádí dle programu provozních kontrol způsoby, které odpovídají příslušné bezpečnostní třídě[16]. Při kontrole se obsluha zaměřuje zejména na kontrolu těsnosti zařízení, kontrolu izolace, sledování bezpečnostní výzbroje a měřících přístrojů, odborné dotahování netěsných uzávěrů a spojů, zajištění správné funkce stavoznaků, tlakoměrů a teploměrů a kontrolu pojistného zařízení.

---

[15] Při výkonech nižších, než 100% jsou v provozu odpovídající počty čerpadel, teploty dohřívaného média odpovídají aktuálnímu výkonu turbogenerátorů a parametrech odběrové páry. V napájecí nádrži je udržována vždy teplota 164 °C náhřevem z pomocného kolektoru 0,7 MPa.

[16] Kontroly a zkoušky jsou prováděny stejnými metodami, jako je uvedeno u systému rozvodu admisní páry v kap. 10.3.5.3.

10.4.2.5 Hodnocení provozu systému kondenzátu a napájecí vody

Na systémech byly ze předchozích 30 let provozu provedeny následující provedeny následující hlavní modifikace:

- Výměna potrubí a armatur velkých napájecích hlav
- Instalace omezovačů švihnutí na vysokoenergetická potrubí podélné etažérky
- Seismické zodolnění napájecích nádrží
- Výměna vysokotlakých ohříváků
- Výměna řady servopohonů a armatur po vyčerpání jejich životnosti

Systém kondenzace, nízkotlaké a vysokotlaké regenerace a systém napájecí vody je po technické stránce spolehlivý bez větších závad. Drobné závady běžného charakteru neovlivnily jadernou bezpečnost bloku. Při dodržování předepsaných kontrol a při provozování systémů dle provozních předpisů systémy vyhovují požadavkům na spolehlivost provozu.

Systém kondenzátu a napájecí vody byl důkladně posouzen v rámci projektové přípravy pro zvýšení výkonu bloku. Z detailního posouzení vyplynul pouze požadavek na zvýšení tlaku v kolektoru 0,7 MPa pro snížení tepelného namáhání vysokotlakých ohříváků. V rámci detailního posouzení bylo prověřeno potrubí kondenzátu, nízkotlaká regenerace, odplyňovače a napájecí nádrže, potrubí napájecí vody, vysokotlaká regenerace, spojovací potrubí páry a kondenzátu, separátor-přehřívač, podávací čerpadla kondenzátu a separátu. Systém kondenzátu a napájecí vody vyhovuje podmínkám provozu na zvýšeném výkonu.

Za současně přijatých a postupně realizovaných opatření a zachování stávajícího a nově zaváděného rozsahu řízení dopadů stárnutí a implementace doporučení, vyplývajících z jejich analýzy je systém schopen bezpečného a spolehlivého provozu minimálně po dobu dalších 10 let.

10.4.3 Chemický režim vody sekundárního okruhu

Přenos energie v sekundárním okruhu je zprostředkovaný tekutým médiem na bázi chemicky upravené vody. Toto médium musí splňovat určité požadavky, které se obecně zahrnují do pojmu "chemický režim". Chemický režim je stav média v daném technologickém okruhu, který je charakterizovaný jeho chemickým složením, tedy koncentrací definovaného souboru chemických látek v daném médiu, které určují jeho vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti. Pro udržení chemického režimu vody v předepsaných mezích slouží systémy čištění média (zpravidla ionexové filtry) a systémy dávkování reagentů.

Požadavky na chemický režim sekundárního okruhu vycházejí z konstrukčního řešení a materiálového složení zařízení sekundárního okruhu, vycházejících ze zkušeností z klasické energetiky. K tomu přistupují doplňující požadavky principiálního charakteru týkající se spolehlivého provozu zařízení, nejvíce citlivého na chemický režim, které zároveň odděluje primární a sekundární okruh - parogenerátoru.

10.4.3.1 Zásady pro řízení chemického režimu

Chemický režim sekundárního okruhu musí být řízen tak, aby se:

- Minimalizovala koroze teplosměnných trubek v parogenerátorech a tak byla dlouhodobě zachována integrita této bariéry pro zabránění šíření aktivity mimo primární okruh jaderné elektrárny.
- Minimalizovala tvorba nánosů na teplosměnných trubkách ze sekundární strany parogenerátoru a to tak, aby byla dlouhodobě zachovaná jeho požadovaná teplosměnná schopnost pro přenos energie z reaktoru na turbínu.
- Minimalizovala koroze konstrukčních materiálů zařízení sekundárního okruhu a tak byl dlouhodobě zachován jejich spolehlivý a bezpečný provoz, předepsaná životnost a co nejvyšší těsnost, ovlivňující ekonomii provozu.

Stejně jako v primárním okruhu tak v sekundárním okruhu při daném konstrukčním a materiálovém řešení probíhají procesy, které kladou protichůdné požadavky na některé parametry chemického režimu. I v tomto případě je tedy navrhnutý chemický režim určitým kompromisem splňujícím uspokojivě požadavky dlouhodobého spolehlivého provozu.

Základní pravidla pro udržování předepsaného chemického režimu sekundárního okruhu jsou následující:

- Používání přídavné (demineralizované) vody vysoké čistoty.
- Definování kritérií kvality a čistoty provozních hmot a chemikálií a používání výlučně takových provozních hmot a chemikálií, které vyhovují stanoveným kritériím.
- Vypracování kvalitních postupů pro provoz a regeneraci systému blokové úpravy kondenzátu a čistící stanice odluhové vody, pro provoz systému dávkování reagentů a jejich důsledné dodržování v praxi.
- Udržování plné průchodnosti odluhových tras jejich pravidelným proplachováním během provozu a čistěním v průběhu odstávek.
- Minimalizace úniků oleje do vody sekundárního okruhu.

10.4.3.2 Udržování chemického režimu

Parogenerátor je charakteristický značnou nerovnoměrností tepelného toku po délce trubkového svazku a tím i nerovnoměrným vývinem páry v horizontální rovině. V parogenerátoru při tepelné zátěži probíhá proces "ukládání solí". Ukládání solí probíhá hlavně v oblastech s vysokou hustotou tepelného toku, tedy přednostně v místech styku horké větve teplosměnných trubek s podporami. V důsledku mnohonásobného odpařování v místech kam má při existenci velkého teplotního gradientu voda omezený přístup dochází k postupnému zakoncentrování v ní rozpuštěných nečistot na koncentrace až 100x vyšší než v kotlové vodě parogenerátoru. Z tohoto důvodu má řízení chemického režimu napájecí vody klíčový význam pro bezpečný provoz parogenerátorů a především na čerpání jejich životnosti.

Sekundární okruh má nastaven bezkyslíkatý (redukční), mírně alkalický chemický režim vody s nízkým obsahem nečistot. Alkalita, jejíž mírou je hodnota pH, je volena podle konstrukčních materiálů. Chemický režim kondenzátu, respektive napájecí vody, je udržován kontinuálním dávkováním chemikálií (hydrazin, čpavek), možností použití až 100 % úpravy kondenzátu na blokové úpravě kondenzátu a automatickým přepínáním výstupu sběrné nádrže kondenzátu na chemickou úpravnu vody při zhoršení kvality vody v sběrné nádrži.

Klíčovými parametry, které určují chemickou kvalitu média sekundárního okruhu, jsou:

- **Koncentrace rozpuštěného kyslíku v napájecí vodě parogenerátorů za vysokotlakými ohříváky** - parametr ovlivňuje významně bodovou korozi teplosměnných trubek v parogenerátoru. Jeho hodnotu ovlivňuje koncentrace kyslíku v kondenzátu, účinnost termického odplyňování a dávkovaní hydrazinu.
- **Nekatexovaná (přímá) vodivost napájecí vody parogenerátorů za vysokotlakými ohříváky** – slouží k určení a kontrole množství alkalizačních činidel potřebných pro dosažení požadovaného pH.
- **Katexovaná vodivost odluhové vody parogenerátorů** - je mírou celkového znečištění aniontového typu. Anorganické anionty, hlavně chloridy, sírany, fluoridy iniciují a podporují korozní procesy materiálů typu austenitická nerez ocel.
- **Koncentrace chloridů v odluhové vodě parogenerátorů** - chloridy v přítomnosti kyslíku podporují korozní praskání pod napětím a samotné též iniciují jamkovou korozi nerez-ocelí.

- **Koncentrace sodíku v odluhové vodě parogenerátorů** - vysoká koncentrace sodíku stejně jako chloridů iniciuje a podporuje korozi pod napětím u austenitických nerez ocelí.

Dále existuje řada pomocných parametrů pro řízení chemického režimu sekundárního okruhu. Dalšími sledovanými hodnotami jsou:

- Koncentrace rozpuštěného kyslíku v kondenzátu.
- Katexovaná vodivost kondenzátu turbíny.
- pH napájecí vody parogenerátorů za vysokotlakými ohříváky.
- Katexovaná vodivost napájecí vody parogenerátorů za vysokotlakými ohříváky.
- Celková koncentrace železa v napájecí vodě parogenerátorů za vysokotlakými ohříváky.
- Koncentrace hydrazinu v napájecí vodě parogenerátorů za vysokotlakými.
- Koncentrace amoniaku v napájecí vodě parogenerátorů za vysokotlakými ohříváky.
- pH odluhové vody parogenerátorů.
- Koncentrace chloridů v odluhové vodě parogenerátorů.
- Koncentrace síranů v odluhové vodě parogenerátorů.
- Koncentrace křemičitanů v odluhové vodě parogenerátorů.

Kontrola chemického režimu se provádí pomocí kontinuálních automatických měření, jejichž výstupy jsou na EDU vyvedeny od informačního systému elektrárny a doplňkově i manuálně odběrem vzorků a jejich rozborem v laboratořích.

10.4.4 Systémy pro řízení chemického režimu sekundárního okruhu

K řízení chemického režimu sekundárního okruhu jsou určeny systémy ionexových filtrů pro úpravu přídavné demineralizované vody tzv. demivody (směsné filtry s interní regenerací – SFIR), bloková úprava kondenzátu (směsné filtry s externí regenerací – SFER) a systém dávkování reagentů do sekundárního okruhu. Součástí systémů jsou i zásobní nádrže demivody a nádrže odpadních vod. Mezi zařízení, která slouží k řízení chemického režimu sekundárního okruhu, patří ještě systém odluhů a odkalů parogenerátorů včetně čisticí stanice (SVO-5), která je umístěna v prostorách primárního okruhu, a její podrobnější popis a funkce jsou součástí kap. Error: Reference source not found.

10.4.4.1 Systém pro úpravu přídavné demivody

Směsné filtry se používají k úpravě vstupní demivody pro technologické potřeby sekundárního okruhu. Jedná se o dvojblokové zařízení, které je umístěno na strojovně lichého bloku. Pracují v režimu 1 + 1 (pracovní + záložní filtr). Při větších odběrech demivody je lze provozovat v režimu 2 + 0 bez ručního zásahu obsluhy. Demivoda je přivedena na vstup filtrů z vnějšího objektu chemické úpravny vod (kap. Error: Reference source not found). Demivoda protéká ionexovou náplní (směs silně kyselého katexu a silně bazického anexu) směrem shora dolů. Katex v H^+ formě odstraňuje veškeré kationty výměnou za vodíkové ionty. Anex v OH^- formě odstraňuje anionty výměnou za hydroxylové ionty. Upravená demivoda vystupuje ze SFIR 1 a SFIR 2 a pro potřeby bloku je přes filtrační zařízení odvedena nerezovou trasou pro potřeby bloku.

Po vyčerpání kapacity filtrů (zhoršení kvality demivody na výstupu) probíhá jejich interní regenerace pomocí chemických činidel. Zařízení je ovládáno pouze ručně, tedy obsluhou z místa.

10.4.4.2 Bloková úprava kondenzátu

Zařízení blokové úpravy kondenzátu přísluší vždy ke kondenzaci turbíny. Na jednom reaktorovém bloku EDU jsou tedy dvě identická zařízení. Úprava kondenzátu na blokové úpravě kondenzátu se řídí kvalitou odluhu parogenerátorů a podle zvoleného pH

napájecí vody parogenerátorů. Vzhledem k vysoce kvalitnímu chemickému režimu sekundárního okruhu EDU (provoz na zvýšeném pH) jsou v normálním stavu elektrárny blokové úpravy kondenzátu provozovány obtokem. Jsou v záloze a jejich připojení se provádí v případě zhoršeného chemického režimu.

Bloková úprava kondenzátu slouží k úpravě veškerého turbínového kondenzátu, který je přiváděn z hlavního kondenzátoru pomocí kondenzátních čerpadel prvního stupně na filtry SFER. Při průtoku blokovou úpravou kondenzátu je směs turbínového kondenzátu, přídavné vody a sběrných kondenzátů, čerpaných ze sběrné nádrže kondenzátu, zbavována suspendovaných látek (převážně korozních produktů) na naplavené vrstvě filtračního makroporézního katexu a demineralizována na směsném ionexovém loži. V případě poruchy těsnosti kondenzátoru zajišťuje bloková úprava kondenzátu do doby odstranění netěsnosti (případně odstavení bloku) požadovanou kvalitu kondenzátu a navazující napájecí vody pro parogenerátory. Upravený kondenzát je do dalších zařízení sekundárního okruhu čerpán kondenzátními čerpadly druhého stupně.

Zařízení blokové úpravy kondenzátu tvoří směsné filtry s externí regenerací (SFER) se směsným ložem a s naplavenou vrstvou filtračního katexu. Směsné lože se skládá ze silně kyselého makroporézního katexu a silně bazického makroporézního anexu v poměru 1:1. Neupravený kondenzát vstupuje do SFER přes vstupní uzavírací armaturu a regulační ventil. Na naplavené vrstvě filtračního katexu je zbavován suspendovaných látek (převážně korozních produktů) a následně je demineralizován na směsném loži. Katex v H^+ formě odstraňuje z kondenzátu veškeré kationty výměnou za vodíkové ionty. Anex v OH^- formě odstraňuje z kondenzátu veškeré anionty výměnou za hydroxylové ionty. Takto upravený kondenzát vystupuje ze SFER přes výstupní uzavírací armaturu na kuželová síta a dále na sání kondenzátních čerpadel 2. stupně.

10.4.4.3 Systém dávkování chemických reagentů

Systém dávkování chemických reagentů sestává z míchacích nádrží, dávkovacích čerpadel, ovládacích skříněk a regulátorů motorů dávkovacích čerpadel. Množství dávkovaných reagentů je úměrné otáčkám pohonu a délce zdvihu pístu dávkovacích čerpadel, které jsou řízeny tyristorovým regulátorem buď ručně, nebo automaticky. Zařízení dávkování chemických reagentů se skládá z 6 pracovních jednotek:

- dávkování hydrazinu do demivody 1,0 MPa
- dávkování čpavku a hydrazinu do kolektoru sání NČ
- dávkování hydrazinu a čpavku do výtlaku dochlazovacích čerpadel
- dávkování hydrazinu do sání pomocných napájecích čerpadel
- dávkování hydrazinu a čpavku do sání kondenzátních čerpadel 2. stupně
- dávkování Na_2SO_3 do horkovodu

Dávkování chemických reagentů probíhá v přímé návaznosti na provoz ostatního zařízení sekundárního okruhu. Zařízení je provozováno v automatickém režimu nebo ručně z místa. Provoz dávkovacích čerpadel a další údaje jsou signalizovány na panelu v blokové dozorně. Účinnost dávkování se kontroluje kontinuální analýzou vzorků odebraných z příslušných odběrových míst v chemické expres-laboratoři, kde jsou umístěny chemické analyzátory nebo ručním odběrem přímo z jednotlivých potrubních tras a vyhodnocením.

10.4.4.4 Odluhy a odkaly parogenerátorů[17]

Účelem systému odluhů a odkalů parogenerátorů (systém RY) je napomáhat udržení předepsaného chemického režimu vody na sekundární straně parogenerátorů. Nežádoucí mechanické a chemické příměsi ze sekundárního média se odstraňují prostřednictvím odluhování a odkalování parogenerátorů (PG). Odluhování se provádí z místa předpokládaného největšího chemického zahuštění v parogenerátoru, odkalování

[17] Na tomto místě je systém uveden pouze z pohledu řízení chemického režimu, vlastní popis je v kap. Error: Reference source not found.

z nejnižších míst v parogenerátoru, kde se usazují mechanické nečistoty. Kvalita odluhu a odkalu, vypouštěného z jednotlivých parogenerátorů, se kontroluje odběrem vzorků.

Systém odluhu a odkalu PG ve všech projektem předpokládaných stavech se podílí na plnění těchto funkcí:

- Provádění trvalého odluhování a periodického odkalování PG, kdy:
  - Trvalým odluhem je udržován sodný režim a hladina iontů chlóru ve vodě sekundárního okruhu.
  - Periodickým odkalem se provádí odstraňování kalů a produktů s vysokým obsahem solí.
- Vypouštění parogenerátoru
- Odvzdušnění sekundární strany parogenerátoru

Systém je provozován v režimu trvalého odluhování a periodického odkalování, přičemž odpouštěné médium je po vyčištění na čisticí stanici odluhů a odkalů (SVO 5) odvedeno zpět do sekundárního okruhu. S médiem se zachází jako s potenciálně radioaktivním.

Při vzniku meziokruhové netěsnosti parních generátorů dochází k průniku aktivity do odluhů parogenerátorů. Pro tento případ jsou nastaveny limity (viz kap. Error: Reference source not found), přičemž do jejich dosažení není provoz systému odluhů PG nijak omezen. V případě překročení povoleného meziokruhového úniku mezi primárním a sekundárním okruhem musí být blok ostaven, vychlazen a provedena oprava příslušného parogenerátoru.

10.4.4.5 Bezpečnostní požadavky na systémy řízení chemického režimu sekundárního okruhu

Pro systém není požadováno protiseizmické provedení. Systém rovněž neobsahuje zařízení, které spadá do Seznamu vybraných zařízení EDU dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb[18]. Při provozu systému a dávkování chemikálií nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky na kontrolu zařízení a bezpečnost.

Při navrhování rozmístění technologického zařízení byly respektovány směrnice o hygienických požadavcích na pracovní prostředí. Při jeho provozu platí pravidla pro práci s chemikáliemi. Při netěsnosti parogenerátoru by mohly být odpadní vody z praní a regenerace náplně směsných filtrů SVO-5 znečištěny radioaktivními látkami a proto je systém zahrnut do pravidelné radiochemické kontroly.

10.4.4.6 Hodnocení systému řízení chemického režimu sekundárního okruhu z hlediska dalšího provozu

Na EDU je používán při dobré kvalitě odluhu parogenerátorů (těsné titanové kondenzátory) a při minimalizovaném výskytu materiálů v sekundárním okruhu, náchylných ke korozi působením čpavku (měď a její slitiny), režim se zvýšeným pH z důvodu minimalizace koroze a eroze materiálů sekundárního okruhu. Chemický režim je udržován dávkováním čpavku a hydrazinu. Udržovaná hodnota pH je v rozmezí 9,85 - 9,95.

Systém řízení chemického režimu sekundárního okruhu je po technické stránce spolehlivý bez větších provozních problémů. V průběhu provozu byly na zařízení provedeny změny, které odstranily dříve se vyskytující provozní problémy. V režimu vyššího pH se předpokládá omezený provoz blokové úpravy kondenzátu (najetí bloku po odstávce, netěsnost kondenzátoru), přičemž je naopak vyšší požadavek na kvalitu přiváděné demivody. Za současně přijatých a postupně realizovaných opatření je systém schopen bezpečného a spolehlivého provozu minimálně po dobu dalších 10 let.

[18] Části systému odluhů a odkalů parogenerátorů s bezpečnostní klasifikací jsou uvedeny v kap. Error: Reference source not found.

11 Nakládání s radioaktivními odpady

Chladivo primárního okruhu se v důsledku kontaktu s aktivní zónou reaktoru kontaminuje aktivitou, která je následně zdrojem plynných, kapalných a pevných radioaktivních odpadů na jaderné elektrárně. Pro nakládání s radioaktivními odpady jsou stanovena pravidla, která minimalizují jejich produkci a vliv na životní prostředí. Jaderná elektrárna je rovněž vybavena technologickým zařízením, které slouží ke zpracování radioaktivních odpadů, jejich ukládání, respektive řízenému uvolňování malého množství nezpracovatelných odpadů do životního prostředí formou řízených a kontrolovaných výpustí.

11.1 Zdrojové členy

Aktivita chladiva primárního okruhu je tvořena následujícími složkami:

- Vlastní aktivitou chladiva, která vzniká vzájemným působením neutronového toku v aktivní zóně s jádry izotopů prvků chladiva a jeho příměsí.
- Aktivitou štěpných produktů pronikající do chladiva jednak z paliva, které je obsaženo jako mikroskopická nečistota na povrchu pokryt paliva, dále v důsledku difúze plynných a štěpných produktů mikrotrhlinami v pokrytí, případně únikem štěpných produktů z paliva v případě poškození pokrytí palivového proutku.
- Aktivitou korozních produktů, které vznikají jednak aktivací konstrukčních materiálů aktivní zóny, dále aktivací příměsí chladiva při průchodu aktivní zónou, a také aktivací korozních produktů, usazených v aktivní zóně reaktoru.

Zdrojovým členem je pak sumarizace koncentrací radionuklidů, které jsou v rovnovážném stavu za normálního provozu v technologii jaderné elektrárny přítomny. Médii, v nichž se stanovují rovnovážné koncentrace radionuklidů, tvořících primární zdrojový člen, jsou:

- Chladivo primárního okruhu, kontaminované radionuklidy z aktivace chladící vody a chemických příměsí k regulaci vodního režimu primárního okruhu, štěpnými produkty a aktivovanými korozními produkty a nečistotami.
- Vzduch šachty reaktoru, kontaminovaný radionuklidy z aktivace složek vzduchu v šachtě reaktoru.

Odvozenými zdrojovými členy jsou:

- Voda bazénu vyhořelého paliva, kontaminovaná převážně štěpnými produkty.
- Voda sekundárního okruhu, aktivovaná průnikem vody primárního okruhu mikro netěsnostmi v parogenerátorech.

Pro stanovení aktivity, vznikající v aktivní zóně za provozu reaktoru (kromě aktivity uzavřené ve vlastním palivu), se používají výpočetní analýzy a postupy verifikované na základě zkušeností z provozu vlastní elektrárny a obdobných, provozovaných jaderných elektráren. Jedná se tudíž o konzervativní dlouhodobé, projektem uvažované, hodnoty pro bilance výpustí a odpadů. V případě EDU, která je již dlouhodobě provozována, je možné projektem očekávané aktivity porovnat s reálně naměřenými hodnotami a výpočetní postupy aplikovat pro plánované použití paliva nové generace.

Výpočty aktivit radionuklidů jsou provedeny zvlášť pro:

- Chladivo primárního okruhu, a v něm:
    - Štěpné produkty
    - Korozní produkty
    - Produkty aktivace chladiva
    - Produkty aktivace příměsí chladiva
    - Tritium

  - Transurany
- Vzdušinu v šachtě reaktoru
- Vodu v bazénu skladu vyhořelého paliva
- Vodu sekundárního okruhu

11.1.1 Aktivita chladiva primárního okruhu

11.1.1.1 Štěpné produkty

Produkty štěpení ^{235}U do chladiva pronikají v důsledku následujících procesů:

- Z paliva, které je obsaženo jako mikroskopická nečistota již z výroby paliva na povrchu pokrytí.
- V důsledku difúze štěpných produktů mikrotrhlinami v pokrytí.
- Únikem štěpných produktů v případě poškození pokrytí palivového proutku.

První proces převládá v počátečním období provozu. Později, při provozu na výkonu, mohou vznikat mikrodefekty v pokrytí proutků, což umožňuje difúzi štěpných produktů do chladiva. Poslední proces nastává v důsledku vlivu záření intenzivního neutronového pole na materiál pokrytí palivového proutku, případně v důsledku poruch vodního režimu.

Během provozu se mohou vyskytnout různé defekty v pokrytí palivových proutků, provázené zvýšeným únikem štěpných produktů do vody primárního okruhu. Jako mez normálního provozu JE se uvažuje výskyt 0,2 % palivových proutků porušených v důsledku mikrotrhlin s defekty typu plynové netěsnosti a nepřekročení podílu 0,02 % palivových proutků s přímým kontaktem jaderného paliva s chladivem. Pro abnormální provoz ovšem v rámci zachování podmínek definovaných v limitech a podmínkách bezpečného provozu (LaP) nesmí dojít k překročení výskytu 1 % palivových proutků s malou poruchou (plynová netěsnost) a 0,1 % proutků s velkou poruchou (přímý kontakt jaderného paliva s chladivem), což je současně bráno jako limit bezpečného provozu (kap. Error: Reference source not found).

Z hlediska zdrojových členů aktivity dochází na EDU k postupné modernizaci palivových cyklů s následným zvyšováním maximálního vyhoření palivových kazet a současně i k modifikacím metodických postupů (programů) při jejich výpočtech. Výchozí údaje pro původní projektové palivové vsázky („původní palivo“) byly založené na palivových souborech (kazetách) s obohacením 3,6 % a 2,4 % ^{235}U. V současnosti se pro provoz EDU používá profilované palivo s obohacením 4,38 % s gadoliniem v pětiletém cyklu (Gd-1) a s maximálním středním vyhořením kazety 56 MWd/kg. Dalším pokročilým typem paliva je profilované palivo s obohacením 4,38 % (Gd-2M) v pětiletém cyklu při nominální výkonové hladině 1444 MW a s maximálním středním vyhořením kazety 65 MWd/kg. Pro jednotlivé typy paliva jsou pak počítány rozdílné hodnoty zdrojového členu štěpných produktů.

Vypočtené hodnoty aktivit štěpných produktů jsou pro postupně realizované palivové cykly pouze obtížně porovnatelné, neboť v reálné aktivní zóně se nachází ve stejnou dobu různé typy paliva až do doby dosažení požadovaného vyhoření pro jednotlivé typy paliva. V následující tabulce Tab. 36. jsou uvedeny vzorové výpočty aktivit jednotlivých radionuklidů a tyto výpočty jsou porovnány s naměřenými skutečnými hodnotami [19]. Z porovnání vyplývá značná konzervativnost předpokladů výpočtů, neboť reálné aktivity za provozu jsou mnohem menší.

V následující tabulce Tab. 36. jsou uvedeny:

- Aktivity štěpných produktů v chladivu primárního okruhu dle výsledků výpočtů vycházejících z technického projektu LOTEP a uvedené v původní předběžné bezpečnostní zprávě
- Výpočtové aktivity štěpných produktů v chladivu primárního okruhu pro profilované palivo s obohacením 4,38 % s Gd-1
- Výpočtové aktivity štěpných produktů v chladivu primárního okruhu pro profilované palivo s obohacením 4,38 % Gd-2M
- Výpočtové aktivity štěpných produktů v chladivu primárního okruhu pro palivo s obohacením 4,38 % Gd-2M+

[19] V tabulce jsou uvedeny pouze nuklidy, které jsou za provozu měřeny, sumarizace (řádek „Celkem“) je však proveden pro všechny nuklidy.

- Rovnovážné aktivity štěpných produktů v chladivu primárního okruhu dle výsledků provozních měření 2007 a 2014
- Dosažená maxima aktivity štěpných produktů v chladivu primárního okruhu dle výsledků provozních měření 2007 a 2014

Tab. 36. Aktivita štěpných produktů v chladivu primárního okruhu

RA nuklid	Poločas rozpadu	Aktivita [Bq/kg]							
		Palivo původní 2,4%/3,6%	Palivo 4,38% Gd-1 56 MWd/kgU	Palivo 4,38% Gd-2M 65 MWd/kgU	Palivo 4,38% Gd-2M+ 66 MWd/kgU	Provozní hodnoty r. 2007	Provozní hodnoty r. 2014	Dosažená maxima provozních hodnot 2007	Dosažená maxima provozních hodnot 2014
Br 84	32 min	7,74E+06	2,89E+06	6,77E+06		2,48E+04		5,51E+04	
Kr 85m	4,5 h	3,84E+07	8,35E+06	4,36E+07		2,74E+03	1,43E+04	5,05E+03	5,37E+04
Kr 87	1,3 h	3,49E+07	9,88E+06	3,23E+07	2,18E+07	5,53E+03	2,48E+04	1,19E+04	7,32E+04
Kr 88	2,8 h	8,71E+07	1,81E+07	7,50E+07	4,74E+07	7,49E+03	1,05E+06	3,13E+04	1,95E+06
Kr 89	3,2 min	2,05E+07	1,13E+07	1,69E+07			5,09E+04		1,72E+05
Rb 89	15 min	2,92E+07	1,20E+07	2,81E+07	4,93E+07	6,75E+04		3,77E+05	
Sr 91	9,7 h	1,87E+06	1,39E+07	1,88E+07	1,80E+07	4,95E+03		3,16E+04	
Sr 92	2,71 h	1,67E+07	1,77E+07	2,02E+07	2,12E+07	1,16E+03		3,15E+03	
Zr 95	64 d	1,22E+05	6,59E+05	1,00E+06	8,86E+05	5,52E+02	2,45E+05	2,75E+03	1,18E+06
Nb 95	35,15 d	9,96E+02	2,03E+05	4,49E+05	3,66E+05	5,42E+02		3,98E+03	
Mo 99	66 h	2,51E+06	9,23E+06	1,05E+07	1,08E+07	1,19E+03		5,64E+03	
Ru 103	39,35 d	1,89E+05	7,78E+05	1,09E+06	1,02E+06	5,59E+02		2,18E+03	
Ru 106	1,0 r	1,34E+03	9,34E+04	1,45E+05	1,34E+05	4,85E+03		1,37E+04	
I 131	8,0 d	5,24E+07	1,58E+06	4,58E+07	2,41E+07	3,92E+03	1,44E+04	2,76E+04	4,37E+04
I 132	2,3 h	5,68E+07	5,54E+06	1,41E+08	7,21E+07	2,04E+04	3,63E+04	3,23E+04	7,46E+04
I 133	21 h	2,57E+08	1,71E+07	1,77E+08	9,81E+07	9,51E+03	1,46E+04	3,01E+04	5,74E+04
Xe 133	5,3 d	9,14E+08	6,20E+07	1,92E+09	9,92E+08	1,37E+04	6,86E+04	8,80E+04	1,82E+05

Cs 134	2,1 r		9,38E+03	2,53E+06	1,57E+06	6,08E+03	9,10E+03	9,67E+04	4,17E+04
I 134	53 min	7,25E+07	3,16E+07	1,27E+08	8,26E+07	3,62E+04	6,25E+04	6,76E+04	1,49E+05
I 135	6,7 h	1,76E+08	2,52E+07	1,47E+08	8,92E+07	2,44E+04	4,09E+04	4,78E+04	1,15E+05
Xe 135m	16 min		1,03E+07	6,15E+07	3,70E+07	4,79E+03		2,35E+04	
Xe 135	9,1 h	4,41E+08	8,64E+07	6,11E+08	3,39E+08	2,97E+04	3,60E+04	6,43E+04	2,73E+05
Cs 137	30 r	1,36E+04	1,21E+04	6,61E+05	2,06E+05	4,27E+03	1,49E+04	6,40E+04	1,04E+05
Cs 138	33 min	7,00E+07	2,55E+07	8,01E+07	5,58E+07	7,14E+04	6,42E+04	1,73E+05	1,84E+05
Xe 138	17 min	4,05E+07	2,36E+07	4,64E+07			6,00E+04		2,06E+05
Ba 140	13 d	4,83E+05	1,06E+06	3,08E+06	2,88E+06	2,78E+03		8,67E+03	
La 140	40,2 h	7,44E+04	9,63E+05	1,67E+06	1,37E+06	1,51E+03		1,02E+04	
Ce 141	32,5 d	1,38E+05	9,44E+05	1,45E+06	1,25E+06	4,87E+02		1,47E+03	
Ce 144	285 d	7,34E+01	2,08E+05	3,37E+05	2,99E+05	2,15E+03		8,97E+03	
Celkem		2,52E+09	5,13E+08	3,94E+09		3,53E+05		1,29E+06	

11.1.1.2 Korozní produkty

Aktivita korozních produktů je dána:

- Aktivací konstrukčních materiálů aktivní zóny a jejich emisí do chladiva.
- Aktivací příměsí (nečistot) chladiva při průchodu aktivní zónou.
- Aktivací korozních produktů, usazených v aktivní zóně reaktoru.

Protože se neočekává, že by nové typy paliva přispívaly ke zvýšení produkce korozních produktů, jsou v následující tabulce Tab. 37. uvedeny:

- Historické aktivity“ korozních produktů v chladivu primárního okruhu dle výsledků výpočtů vycházejících z technického projektu LOTEP a uvedené v předběžné bezpečnostní zprávě.
- Výpočtové aktivity korozních produktů v chladivu primárního okruhu dle výsledků výpočtů pro palivo Gd-2M+.
- Rovnovážné aktivity korozních produktů v chladivu primárního okruhu dle výsledků provozních měření (2007, 2014).
- Dosažená maxima aktivity korozních produktů v chladivu primárního okruhu dle výsledků provozních měření (2007, 2014).

Tab. 37. Aktivita korozních produktů v primárním chladivu

Radio nuklid	Poločas Rozpadu	Aktivita [Bq/kg]					
		Palivo původní 2,4%/3,6%	Palivo 4,38% Gd-2M^{+} 66 MWd/kgU	Provozní hodnoty r. 2007	Provozní hodnoty r. 2014	Dosažená maxima provozních hodnot r. 2007	Dosažená maxima provozních hodnot r. 2014
Cr 51	28 d	2,29E+06	2,70E+06	3,30E+02	9,58E+03	2,60E+03	2,89E+04
Mn 54	292 d	4,44E+04	6,72E+04	3,00E+02	1,26E+03	1,20E+03	1,57E+04
Co 58	72 d	1,33E+05	2,07E+05	1,50E+02	1,23E+03	2,30E+03	1,60E+04
Fe 59	45 d	4,07E+04	4,23E+04	5,00E+01	2,18E+03	4,70E+02	4,37E+03
Co 60	5,2 r	7,05E+04	6,15E+04	7,50E+01	1,24E+03	4,00E+02	6,44E+03
Nb 95	35 d	2,37E+05	3,66E+05	5,40E+01	1,35E+03	1,00E+03	2,83E+04
Zr 95	65 d	4,40E+05	1,68E+05	6,00E+01	1,74E+03	5,70E+02	1,91E+04
Celkem		**3,01E+07**					

11.1.1.3 Produkty aktivace chladiva

V chladivu dochází k aktivaci nuklidů ^{16}O a ^{17}O, obsažených v chladivu a následným rozpadem vzniklých nuklidů ^{16}N a ^{17}N. Aktivace nuklidů kyslíku popisují reakce:



^{16}O (n,p) ^{16}N



^{17}O (n,p) ^{17}N

V důsledku krátkého poločasu rozpadu ^{16}N a ^{17}N se při najetí reaktoru na výkon prakticky ihned ustaví rovnovážná aktivita těchto nuklidů, která je určena výkonem reaktoru a nezávisí na době provozu.

Dalším vznikajícím radionuklidem je ^{14}C, který převážně vzniká následující reakcí:

^{17}O (n,alfa) ^{14}C

Izotop ^{14}C se v primárním okruhu vyskytuje z 99 % v plynné formě (metan, oxid uhličitý) a rovnovážné koncentrace v chladivu je dosaženo cca po jednom měsíci provozu.

V následující tabulce Tab. 38. jsou uvedeny:

- Bilance aktivity z aktivace vody po dobu 1 roku (bez úniku) pro profilované palivo s obohacením 4,38 % s Gd-2M
- Předpokládané (výpočtové) aktivity primárního okruhu z aktivace chladiva s palivem Gd-2M+ (NH_3 a H_2O).

Tab. 38. Bilance aktivity z aktivace chladiva primárního okruhu

Radionuklid	Rozpadová konstanta [s^{-1}]	Aktivita [Bq/kg]	
		Gd-2M (65 MWd/kgU)	Gd-2M^{+}(66 MWd/kgU)
^{3}H	1,780E-09	2,543E+05	2,46E+03
^{14}C	3,836E-12	2,864E+05	5,87E+02
^{15}C	2,829E-01	3,843E+07	6,04E+07
^{16}N	9,708E-02	8,501E+08	1,34E+09
^{17}N	1,660E-01	1,427E+05	2,24E+05
^{15}O	5,681E-03	2,371E+05	3,73E+05
^{19}O	2,586E-02	8,882E+06	1,29E+07
Celkem		**8,983E+08**	**1,41E+09**

11.1.1.4 Aktivace příměsí v chladivu

Pro výpočet aktivace příměsí v chladivu je podstatný chemický režim primárního okruhu. Rychlost koroze konstrukčních materiálů závisí především na hodnotě pH, obsahu kyslíku, chloridů, termodynamické stabilitě a povrchové úpravě materiálu. Minimum rychlosti koroze materiálů odpovídá slabě zásaditému prostředí. Hodnota pH_{300} (pH při 300°C) chladiva má vliv na usazování korozních produktů a jiných nečistot na površích palivových proutků. Optimální pH_{300} je v rozmezí 7,1-7,3.

Ke kompenzaci reaktivity se v primárním okruhu používá kyselina boritá (H_3BO_3). Acidita kyseliny borité je kompenzována přídavkem silné alkálie (KOH). Pro eliminaci rozpuštěného kyslíku se do primárního okruhu dávkuje amoniak (NH_3), jehož radiolytickým rozkladem vzniká vodík. Poměrně značné koncentrace přídavných látek zvyšují i možnost kontaminace chladiva nežádoucími nečistotami, které buď představují nebezpečí porušení integrity materiálů (chloridy) nebo se aktivují a zvyšují tak radiační zátěž personálu.

V následující tabulce Tab. 39. jsou uvedeny:

- Předpokládané aktivity v primárním okruhu z aktivace chladiva s palivem Gd-2M+ (H_3BO_3 a KOH)
- Rovnovážné aktivity aktivovaných příměsí v chladivu primárního okruhu dle výsledků provozních měření (2007, 2014).
- Dosažená maxima aktivity aktivovaných příměsí v chladivu primárního okruhu dle výsledků provozních měření (2007, 2014).

Tab. 39. Aktivita aktivovaných příměsí v primárním chladivu

Radio nuklid	Poločas rozpadu	Aktivita [Bq/kg]				
		Palivo 4,38% Gd-2M+ 66 MWd/kgU	Provozní hodnoty 2007	Provozní hodnoty 2014	Dosažená maxima provozních hodnot	Dosažená maxima provozních hodnot

					2007	2014
^{24}Na	15 h	2,33E+05	3,13 E+05	1,97E+05	4,29 E+05	8,05E+05
^{41}Ar	1,8 h	6,06E+04	3,73 E+05	1,76E+05	1,57 E+06	2,11E+06
^{42}K	12 h	7,57E+06	4,55 E+06	3,83E+06	6,26 E+06	7,81E+06
Celkem			**5,24E+06**			

11.1.1.5 Produkce tritia

Tritium ^{3}H je radioaktivní izotop vodíku ($T_{1/2}$=12,26 roku), který emituje beta záření s maximální energií 18,6 keV. Během provozu lehkovodních reaktorů vzniká tritium jako důsledek následujících reakcí:

- reakce neutronů s jádry bóru v chladivu ^{10}B (n, alfa) ^{7}Li (n, n, alfa) ^{3}H nebo ^{10}B (n, 2 alfa) ^{3}H
- trojné štěpení uranu
- aktivace ^{10}B ve vyhořívajícím absorbátoru
- aktivace ^{7}Li z ^{10}B v palivu
- aktivace ^{7}Li z ^{10}B v chladivu
- aktivace deuteria v chladivu ^{2}H (n, gama) ^{3}H
- aktivace ^{10}B v palivu.

V rovnovážném stavu se z jaderné elektrárny do životního prostředí vypouští v určitém časovém úseku (při zanedbání přirozeného rozpadu) množství tritia rovné jeho produkci. Tritium se v okruzích EDU s výjimkou počátečních kampaní nehromadí. Produkce tritia během provozu vsázky není ovšem rovnoměrná a produkce se zvyšuje na počátku kampaně kdy je vyšší koncentrace kyseliny borité (H3BO3) v chladivu primárního okruhu a tím i izotopu ^{10}B v chladivu a při výkonových v průběhu kampaně změnách, kdy rovněž dochází ke zvyšování koncentrace H3BO3 v chladivu.

Protože se neočekává, že by nové typy paliva přispívaly ke zvýšení produkce tritia, ale spíše je možno předpokládat její snížení, jsou v následující tabulce Tab. 40. konzervativně uvedeny jako maximální údaje hodnoty:

- Aktivita tritia dle výsledků výpočtů vycházejících z původního technického projektu LOTEP
- Dosažené maximum aktivity tritia dle výsledků předchozích provozních měření na blocích EDU
- Rovnovážné aktivity tritia (provozní a maxima) dle výsledků provozních měření v roce 2014 na blocích 1 až 4.

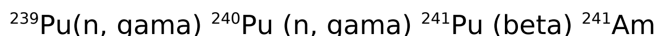
Tab. 40. Aktivita tritia

Radionuklid	Poločas rozpadu	Aktivita [Bq/kg]					
		Palivo původní 2,4%/3,6 %	Palivo 4,38% Gd-2M+ 66 MWd/kg	Maximum z měření 43 cyklů	Blok	Provozní hodnoty 2014	Maxima provozních hodnot 2014
^{3}H	12,26 roku	3,7E+06	1,51E+07	1,2E+07	1.RB	6,76E+06	1,14E+07
					2.RB	6,02E+06	1,03E+07
					3.RB	5,49E+06	1,09E+07
					4.RB	6,27E+06	1,07E+07

11.1.1.6 Produkce transuranů

V důsledku rozpadu vznikají v palivu transurany, které mohou pronikat mikrotrhlinami v pokrytí do chladiva. Nejsledovanějšími jsou ^{239}Pu a ^{241}Am, které vznikají následujícími reakcemi:


^{238}U (n, gama) ^{239}U (beta) ^{239}Np (beta) ^{239}Pu


^{239}Pu(n, gama) ^{240}Pu (n, gama) ^{241}Pu (beta) ^{241}Am

Míra zastoupení těchto radionuklidů v chladivu ukazuje na stupeň poškození paliva a minimální detekovatelné aktivity jsou pro ^{293}Pu 10^{-4} Bq/kg a u ^{241}Am 2,19 x 10^{-2} Bq/kg.

11.1.2 Aktivita vzduchu v šachtě reaktoru

Odvod tepla ze šachty reaktoru a pohonů regulačních kazet zajišťuje cirkulační ventilační systém TL11. Systém nasává vzduch z boxu parogenerátorů, na chladičích se vzduch ochlazuje na cca 35°C. Ochlazený vzduch je společným výtlakem veden do jednoho vzduchovodu do prostoru nad hlavní dělicí rovinu reaktoru a dvěma vzduchovody do prostoru šachty pod hlavní dělicí rovinou rektoru.

V šachtě reaktoru dochází k neutronové aktivaci vzduchu. Izotop ^{14}C zde vzniká aktivací nuklidů ^{17}O a ^{14}N následujícími reakcemi:


^{17}O (n, alfa) ^{14}C


^{14}N (n, p) ^{14}C

Z hlediska úniků do ventilačního komína je důležitá další reakce


^{40}Ar (n, gama) ^{41}Ar

Při výpočtu aktivity vzdušniny v šachtě reaktoru je konzervativně zanedbána filtrace u všech izotopů. Je uvažováno složení vzduchu jako směsi plynů (v závorce uvažované procentní podíly) N (75,51%), O (23,18%), Ar (1,29%), C (0,0132%), Ne (0,00164%) a Kr (0,00033%).

Vypočtené hodnoty aktivity vzduchu jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 41.. Aktivita vzdušnin šachty reaktoru se speciálně neměří, radiační kontrola se provádí na výstupu z komína. Vypočtené hodnoty platí pro palivo Gd-2M+.

Tab. 41. Aktivita vzdušniny v šachtě reaktoru

Radionuklid	Poločas Rozpadu	Aktivita [Bq/m^3]	
		Šachta reaktoru	Hermetické prostory
N 13	10 min	1,92E+04	5,26E+03
C 14	5570 r	5,93E+02	5,77E+02
Ar 41	1,8 h	4,54E+06	3,58E+06

11.1.3 Aktivita bazénu skladu vyhořelého paliva

Vyhořelé palivové kazety jsou skladovány po vyjmutí z reaktoru ve skladovacím bazénu vyhořelého paliva. Skladují se až do doby, kdy tepelný výkon a radiace poklesnou na stanovenou úroveň, při které je lze stíněným kontejnerem odvézt do skladu vyhořelého jaderného paliva. Palivové kazety, u nichž se v systému kontroly hermetičnosti pokrytí (KGO) prokáže poškození pokrytí paliva, jsou skladovány a dopravovány v hermetických pouzdrech pro poškozené palivové kazety. Veškeré operace s vyhořelými palivovými kazetami a s hermetickými pouzdry, v nichž jsou uloženy palivové kazety s poškozeným pokrytím, se provádějí pod vodou pomocí zavážecího stroje. Voda bazénů vyhořelého paliva je čištěna na filtračních linkách systému SVO4.

V následující tabulce jsou uvedeny pouze měřené hodnoty:

- Aktivity v bazénu vyhořelého paliva dle výsledků výpočtů vycházejících z původního technického projektu LOTEP
- Rovnovážné aktivity v bazénu vyhořelého paliva dle výsledků provozních měření (2007, 2014),
- Dosažená maxima aktivity v bazénu vyhořelého paliva dle výsledků provozních měření (2007, 2014)

Tab. 42. Aktivita v bazénu vyhořelého jaderného paliva

RA nuklid	Poločas rozpadu	Aktivita [Bq/kg]				
		Projektové hodnoty	Provozní hodnoty 2007	Provozní hodnoty 2014	Maxima provozních hodnot 2007	Maxima provozních hodnot 2014
Cr 51	28,0 d	1,55E+04	6,30E+02	2,66E+02	1,35E+03	9,37E+02
Mn 54	292 d		2,50E+03	3,19E+02	1,87E+04	1,97E+03
Co 58	72,0 d		4,10E+03	1,34E+03	3,32E+04	9,10E+03
Fe 59	45,0 d	2,46E+02	9,50E+01	3,95E+01	1,10E+02	8,08E+01
Co 60	5,2 r	1,88E+03	7,40E+02	1,92E+02	4,60E+03	1,02E+03
Nb 95	35,15 d	4,88E+02	1,80E+02	5,45E+01	3,40E+02	2,91E+02
Zr 95	64,0 d	5,22E+03	1,90E+02	5,28E+01	7,00E+02	2,62E+02
Ru 106	1,0r		<8,0E+02	2,76E+02		6,41E+02
I 131	8,0 d	1,47E+05	1,20E+03	2,33E+01	2,20E+03	5,35E+01
I 133	21,0 h		<1,0E+02	2,83E+01		7,08E+01
Xe 133	5,3 d		8,50E+02	3,28E+01	1,80E+03	9,48E+01
Cs 134	2,1 r		1,70E+03	3,55E+01	1,20E+04	1,03E+02
Cs 137	30,0 r	1,34E+03	2,70E+03	3,43E+02	8,50E+03	1,16E+03
Pu 239	24 390 r		1,78[20]			
Am 241	458 r		3,7E-01			

11.1.3.1 Aktivita sekundárního okruhu

Sekundární okruh se aktivuje v důsledku průniku vody primárního okruhu mikro netěsnostmi v parogenerátoru. Pro výpočet bilancí aktivit v sekundárním okruhu při provozu reaktoru s palivem Gd-2M i Gd-2M+ a při nominálním výkonu reaktoru 1444 MW byly použity následující předpoklady:

- Bilance aktivit je řešena pro jeden blok, tj. 6 parogenerátorů.
- Výpočet byl proveden s limitními hodnotami měrné aktivity radionuklidů v primárním okruhu, tj. s maximálními hodnotami, při kterých lze ještě reaktor provozovat.
- Průtočná množství páry, kondenzátu a napájecí vody jsou převzata z tepelného schématu pro výkon reaktoru 1444 MW.
- Teplota chladící vody 20 °C.

[20] Aktivita americia a plutonia byla naměřena v důsledku skladování jedné poškozené kazety.

- Průsaky mezi primárním a sekundárním okruhem jsou uvažovány 5 l/h na 1 parogenerátor u všech 6 PG (celkem 30 l/h), což je maximální množství povolené výrobcem parogenerátoru.
- Separační faktory jsou definovány jako frakce absolutní aktivity, která je přítomna v plynné fázi v daném zařízení.
- Pro záchyt na filtrech SVO-5 jsou použity konzervativní hodnoty.

V následující tabulce Tab. 43. jsou uvedeny výpočty bilancí aktivit v sekundárním okruhu pro výkon reaktoru 1375 MW s palivem Gd-1 a pro výkon reaktoru 1444 MW s palivem Gd-2M a s palivem Gd-2M+.

Tab. 43. Sumární hmotnostní aktivity sekundárního okruhu

	Aktivita [Bq/kg]		
	1375 MW, Gd-1	**1444 MW, Gd-2M**	**1444 MW, Gd-2M+**
V parogenerátoru	1,109E+06	4,258E+05	4,541E+05
V páře	1,120E+04	1,571E+04	1,367E+04
V napájecí vodě	2,957E+03	6,693E+02	6,298E+02

11.2 Systémy nakládání s kapalnými odpady

11.2.1 Účel systému nakládání s radioaktivními odpadními vodami

Při provozování jaderné elektrárny vznikají aktivní kapalná média, která jsou v zásadě dvojího typu. Jednak jsou to aktivní provozní média, která jsou uzavřena uvnitř technologických okruhů, jednak jsou to odpadní aktivní vody, které musí být nějakým způsobem likvidovány.

Aktivní provozní média v průběhu palivové kampaně i odstávek mění svůj objem, neboť dochází k jejich řízenému ředění (snižování koncentrace kyseliny borité) nebo opětovnému zahušťování (příprava roztoků pro bezpečnostní systémy a bórovou regulaci). Tato média jsou mnohokrát recyklována pomocí ionexových filtrů a odparek, přičemž rozhodujícím kritériem pro jejich opětovné používání je vysoká chemická a radiochemická kvalita. Při recyklaci vznikají i odpadní vody o mnohonásobně menším objemu, než vlastní technologická média. Tyto odpadní vody vznikají jednak jako pozůstatek původního provozního média, jednak jako odpadní technologické vody z regenerace a proplachů ionexových filtrů. Dalšími zdroji odpadních vod pak jsou oplachové dekontaminační roztoky, neorganizované úniky z primárního okruhu, odpadní vody z radiochemických a chemických laboratoří, vody ze speciální prádelny, vody s nevyhovující radiochemickou analýzou (zejména vysoký obsah tritia), technologická média z drenáží při opravách a odvzdušňování částí primárního okruhu, vody z havarijních sprch a umyvadel hygienických smyček atd.

Odpadní vody mají nevyhovující kvalitu pro opětovné použití v uzavřeném cyklu a zpravidla mají vysoký obsah nečistot či příměsí. Jejich další použití v technologickém procesu tedy není možné a je třeba oddělit jejich radioaktivní složky, převést je do stabilní formy a následně uložit na úložišti RA odpadů. Vyčištěné odpadní vody (vlastně čistý kondenzát), které nelze vrátit do okruhu pro vysoký obsah tritia, jsou po dostatečném naředění vypouštěny zpět do životního prostředí. Všechna vypouštěná média podléhají přísné radiochemické kontrole (viz kap. Error: Reference source not found).

Filosofii nakládání s kapalnými RA odpady lze tedy shrnout do několika bodů:

- Každé kapalné médium v kontrolovaném pásmu je považováno za potenciálně radioaktivní.
- Je použita maximální recyklace všech kapalných technologických médií a jejich návrat zpět do technologických okruhů nebo zásobních nádrží.

- Pokud recyklace není možná, provádí se sběr odpadních vod jako potenciálně radioaktivních v jímkách odpadních vod uvnitř kontrolovaného pásma.
- Oddělení aktivních složek kapalného média a minimalizace jeho objemu.
- Převedení aktivních odpadních složek do stabilní formy a jejich trvalé uložení.
- Zbývající tritiové vody po naředění a při dodržení stanovených limitů uvolnit do životního prostředí.

Základní zásadou pro práci s odpadními vodami je předběžná opatrnost, protože je třeba počítat s tím, že do odpadních vod se mohou dostat i složky se zvýšenou aktivitou (např. při dekontaminaci zařízení nebo při vyvážení ionexových filtrů primárního okruhu). Celý cyklus zpracování odpadních radioaktivních vod proto podléhá přísné radiochemické kontrole.

11.2.2 Koncepce projektového řešení systémů pro nakládání s RA kapalnými odpady

Systém sběru potenciálně aktivních odpadních vod je oddělen od ostatních kanalizačních systémů EDU. Kanalizační systém sběru odpadních vod v EDU, ve kterých se může vyskytovat aktivita, se nazývá speciální kanalizace.

Speciální kanalizace je dále členěna na dvě větve – podmíněně čistou kanalizaci a podmíněně nečistou kanalizaci. V podmíněně čisté kanalizaci jsou shromažďovány všechny odpadní vody z volně přístupných obslužných prostor kontrolovaného pásma, u nichž je předpokládáno neaktivní médium, avšak přítomnost aktivity nelze vyloučit. Do podmíněně nečisté kanalizace jsou shromažďovány odpadní vody, u kterých je pravděpodobnost či jistota výskytu aktivity. Jedná se například o drenáže z hermetického prostoru a dalších neobslužných prostor, kontrolní drenáže bazénu skladu vyhořelého paliva atd. Do systému speciální kanalizace patří rovněž kanalizace ze speciálních prádelen a chemických laboratoří.

Sběr odpadních vod z obou větví (čisté i nečisté) je veden do společné nádrže, takzvané jímky odpadních vod. Tato jímka je umístěna na nejnižším podlaží kontrolovaného pásma, tedy -10,5 m. Shromážděné odpadní vody v jímce odpadních vod jsou dále zpracovávány pomocí systémů pro zpracování kapalných radioaktivních odpadů.

Zpracování kontaminovaných kapalných médií je vedeno snahou koncentrovat aktivitu do co nejmenšího objemu. Tím na jedné straně vzniká relativně malý objem média, který můžeme označit jako radioaktivní (RA) odpad, a na druhé straně relativně velký objem dekontaminovaného média k dalšímu použití nebo případně vypuštění zpět do životního prostředí. Jako metody zpracování RA vod jsou na zvoleny ověřené postupy mechanické a ionexové filtrace, sorpce, sedimentace, a odpařování.

Systémy pro nakládání s kapalnými odpady jsou v EDU tvořeny třemi základními a vzájemně navazujícími podsystémy. Jedná se o sběr a zpracování odpadních vod a nečistého kondenzátu, na které navazují podsystémy sběru a skladování kapalných radioaktivních (RA) odpadů a systém převedení kapalných radioaktivních odpadů do stabilní pevné formy (ZRAO).

Systém **sedimentace odpadních vod a jejich následné separace** na odparce slouží ke shromažďování a zpracování všech odpadních vod z hlavních výrobních bloků, budov aktivních pomocných provozů a provozních budov (hygienických smyček a laboratoří), a vod s obsahem kyseliny borité z nádrží nečistého kondenzátu. Cílem je separace a vyčištění od mechanických, chemických a radiochemických nečistot tak, aby je bylo možno znovu použít ve spotřebičích primárního okruhu, nebo vypustit do venkovní kanalizace.

Na systém zpracování odpadních vod a nečistého kondenzátu navazuje systém **sběru a dočasného skladování kapalných RA odpadů** (koncentráty a sorbenty), který je umístěn v budovách pomocných aktivních provozů a skládá se z nádrží na uložení odpadů v kapalné fázi s pevnými složkami (např. použité radioaktivní ionexy - sorbenty). Dočasné skladování kapalných RA odpadů vytváří podmínky pro efektivní

ochranu personálu EDU před účinky ionizujícího záření vymíráním RA nuklidů s krátkým poločasem rozpadu před konečnou úpravou těchto odpadů.

Úprava radioaktivních koncentrátů do formy, přijatelné pro úložiště radioaktivních odpadů (ÚRAO) se provádí v objektu zpracování RA odpadů (ZRAO) technologií bitumentace. Při procesu bitumenace jsou zahuštěné kapalné radioaktivní odpady (koncentráty) fixovány do bitumenové matrice. Přitom dochází k převedení do pevné, vodou těžko vyluhovatelné, formy odpadu. Bitumenový produkt v ocelových 200 litrových sudech se ukládá na ÚRAO JE Dukovany. Sorbenty a kaly jsou zpracovávány periodicky fixací do geopolymerní matrice (SIAL) a ukládány v 200 l sudech rovněž na ÚRAO JE Dukovany.

Kapalné RA odpady organického původu (oleje) se skladují v určených prostorech v plechových sudech. Pod nimi jsou ochranné vany, umožňující zachycení celého obsahu skladovaných sudů. Těkavé RA odpady (např. perchlóretylén) se přečišťují na regeneračním destilačním přístroji. Používání těkavých a zejména hořlavých rozpouštědel je však v EDU minimalizováno.

11.2.3 Systém sběru, skladování a zpracování odpadních vod

Systém sběru, skladování a zpracování odpadních vod je rozdělen do podsystémů, které mohou pracovat samostatně nebo ve vzájemné součinnosti. Části systémů přísluší k příslušnému reaktorovému bloku, části naopak k příslušnému dvojbloku (hlavnímu výrobnímu bloku). Objekty budov aktivních pomocných provozů (BAPP) jsou vždy společné pro příslušný hlavní výrobní blok (reaktorový dvojblok).

- Systém jímek odpadních vod a skladování odpadních vod 1,2(3,4)TR10B01, 0(7)TR24,25,26B01 a 0(7)TR20 je určen pro sběr, skladování a dopravu odpadních vod do podsystému odparek 0(7)TR30(TD30) za účelem dalšího zpracování.
- Systém odparek 0(7)TR30(TD30) je určen pro zpracování odpadních vod a nečistého kondenzátu před zpětným použitím ve spotřebičích primárního okruhu nebo přečerpáním do skladovacích nádrží kapalných RA odpadů.
- Systém stanic ionexových filtrů 0,(7)TR,TD32 a skladovacích nádrží 0(7)TR,TD40 je určen k dočištění, skladování a přečerpání odplyněné vody z odparek do nádrží čistého kondenzátu před dalším použitím ve spotřebičích primárního okruhu.

Systém umožňuje široký rozsah přemanipulací a použití jednotlivých částí pro různé účely. V normálním provozu je systém TR (odparka i filtry) určen pro zpracování odpadních vod z jímky odpadních vod. Systém TD (odparka i filtry) je pak určen ke zpracování nádrží nečistých kondenzátů[21], tedy recyklaci provozních médií a jejich opětovnému použití v technologii.

11.2.3.1 Systém jímek odpadních vod a skladování odpadních vod

Systém sběru, skladování a zpracování odpadních vod je umístěn uvnitř kontrolovaného pásma na podlaží -6,5 m a -10,5 m na obou hlavních výrobních blocích, přičemž každý reaktorový blok je vybaven vlastním systémem. Systém se skládá z:

- Sběrných nádrží TR (jímky odpadních vod).
- Sběrných kolektorů speciální kanalizace.
- Podávacích čerpadel TR jímky odpadních vod.
- Ejektorů a kanalizačních sběrných jímek.
- Oddělovacích rychločinných armatur z hermetické zóny.

[21] Nádrž nečistých kondenzátů je zaužívaný termín pro nádrž, ve které jsou shromažďovány roztoky kyseliny borité z technologie. Slovo „nečistý“ zde znamená, že se jedná o bórovanou vodu (tedy ne-čistý kondenzát), avšak s vyhovující chemickou kvalitou pro opětovné použití v systému.

Přívod odpadních vod do systému je zajištěn potrubními řady od systémů speciální kanalizace reaktorového bloku, speciální kanalizace hermetické zóny, speciální kanalizace budovy aktivních pomocných provozů, systému dekontaminace, přepadů nádrží čisticích stanic SVO 2 a SVO 6 a kanalizačních sběrných jímek. Odvod odpadních vod je zajištěn potrubím od čerpadel TR do systému skladování v budově aktivních pomocných provozů.

Systém skladování odpadních vod v budově aktivních pomocných provozů je společný pro dva reaktorové bloky, tedy pro příslušný hlavní výrobní blok. Skládá se z:

- Dvojice mechanických filtrů TR.
- Z trojice skladovacích nádrží odpadních vod TR.
- Z dvojice podávacích čerpadel TR.

Odvod odpadních vod z nádrží odpadních vod je zajištěn potrubím od podávacích čerpadel do systémů zpracování odpadních vod na odparkách v hlavním výrobním bloku.

Obr. 128. Systém jímek odpadních vod a skladování odpadních vod – schematický náčrt

Systém jímek a skladování odpadních vod slouží k hromadění všech odpadních vod, vznikajících v kontrolovaném pásmu. Vody ze speciálních kanalizací kontrolovaného pásma jsou přes hydrouzávěry zavedeny do jednoho sběrného kolektoru, příslušejícímu příslušné jímce odpadních vod (jednoho reaktorového bloku). Vody speciální kanalizace z kontejnmentu (hermetické zóny) jsou přiváděny do nádrží potrubními trasami se zabudovanými rychločinnými armaturami, které jsou za normálního provozu bloku otevřeny. V případě havarijní situace jsou rychločinné armatury uzavřeny signálem ESFAS.

Do druhého sběrného kolektoru jsou přivedeny vody z přepadů nádrží nečistého kondenzátu, nádrží koncentrátu H_3BO_3, drenáží potrubních tras, dále roztoky po dekontaminaci zařízení a výtlaky ejektorů TR, které slouží k odčerpání kanalizačních jímek v podlahách místností na podlažích -10,5 m. Vody z tohoto kolektoru mohou být odváděny do nádrže jednoho i druhého reaktorového bloku.

Ke každé jímce odpadních vod náleží dvojice čerpadel, které v automatickém režimu od hladiny (resp. i ručním) přečerpávají vody dále do systému sedimentačních a skladovacích nádrží v příslušné budově aktivních pomocných provozů (BAPP). Každé z čerpadel může čerpat vody z kterékoliv jímky v závislosti na nastavení sacích tras.

Pro ředění uvolněných plynů je nad hladiny jímek odpadních vod přiváděn nízkotlaký dusík s následným odvodem směsi do systému čištění plynů TS70 v budovách aktivních pomocných provozů (BAPP).

Čerpané odpadní vody z jímek odpadních vod jsou odváděny do sedimentační nádrže TW, kde jsou na gravitačním principu z vod odseparovány hrubé mechanické nečistoty. Přepadovým potrubím jsou vody vedeny do přepadové nádrže a pomocí čerpadel TW přečerpány trasou přes dvojici mechanických filtrů do skladovacích nádrží odpadních vod TR umístěných v BAPP.

Hlavní funkcí skladovacích nádrží je vytvoření dostatečné zásoby vod pro provozní režim zpracování odpadních vod na odparce TR, respektive TD.

11.2.3.2 Systém odparek TR a TD

Systém odparek hlavního výrobního bloku je společný pro dva reaktorové bloky a skládá se z:

- Destilační stanice odpadních vod, skládajícího se z odparky TR, doodparky TR, kondenzátoru - odplyňovače TR a deflegmátoru TR.

- Destilační stanice nečistého kondenzátu, skládajícího se z odparky TD, doodparky TD, kondenzátoru - odplyňovače TD a deflegmátoru TD.
- Monžíků (manipulačních nádrží) zahuštěných zbytků po zpracování odpadních vod TW.
- Podávacích čerpadel odplyněné vody TR a TD
- Armatur a rozvodu přívodu topné páry TN z pomocného kolektoru 0,5 MPa.
- Kondenzačních nádržek topné páry a chladičů topné páry TN.
- Míchadel odpěňovadla TR a TD.

Obr. 129. Systém odparek TR a TD – schematický náčrt

V základním provozním režimu systém zpracovává odpadní vody na odparce TR. Systém pracuje nezávisle na stavu provozování reaktorových bloků. Proces zpracování odpadních vod probíhá v odparce TR ve dvou fázích:

- Odpadní vody jsou přiváděny pomocí čerpadla TR trasou od jedné ze skladovacích nádrží TR do vyhřívací komory odparky. Po zahřátí na bod varu dochází k odpařování vody a odvodu tzv. „brýdové páry“ do separátoru odparky. Současně je médium ve vyhřívací komoře zahušťováno na celkovou solnost roztoku ~ 40 g/kg.
- Částečně zahuštěné médium je kontinuálně odpouštěno do vyhřívací komory doodparky TR, kde dochází ke konečnému zahuštění na celkovou solnost ~ 200 g/kg.

Odvodněná brýdová pára ze separátoru odparky postupuje do kondenzátoru-odplyňovače TR, chlazeného technickou vodou nedůležitou, kde kondenzuje a zároveň se odplyňuje. Paroplynná směs z kondenzátoru-odplyňovače postupuje do deflegmátoru TR, kde kondenzují zbytky vodních par. Plynná směs je odváděna do systému čištění technologického odvzdušnění nádrží TS70 v budově aktivních pomocných provozů.

Zkondenzovaný destilát je pomocí čerpadla TR odváděn na ionexovou stanici TR v budově aktivních pomocných provozů k dočištění před dalším využitím. Zahuštěný zbytek z doodparky je periodicky vypouštěn trasou přes tzv. monžík (manipulační nádrž) TW do skladovacích nádrží kapalných RA odpadů v BAPP. Hnacím médiem pro transport zahuštěného média je nízkotlaký vzduch.

11.2.3.3 Systém ionexových filtrů TR a TD

Systém ionexových filtrů je umístěn v budovách aktivních pomocných provozů a skládá se z:

- Mechanických filtrů TR atd.
- Chladičů TR a TD odplyněné vody.
- Ionexových filtrů a lapačů ionexu TR a TD.

Obr. 130. Systém ionexových filtrů TR a TD – schematický náčrt

Zkondenzovaný destilát je pomocí čerpadla TR odváděn trasou zásadně na ionexovou stanici TR (SVO 3) v budově aktivních pomocných provozů. V systému ionexových filtrů dochází na uhlových filtrech k záchytu olejovitých látek. Po ochlazení je odplyněná voda na ionexových filtrech zbavena čpavku a zbytků solí v iontové formě. Po průchodu filtry je přečištěná voda shromažďována v kontrolních nádržích TR a dále čerpána do nádrží čistého kondenzátu ke znovupoužití v technologických okruzích EDU nebo do venkovní kanalizace po naředění vodou neaktivních technologických okruhů (bez tritia) jako řízená a kontrolovaná kapalná výpusť do životního prostředí.

11.2.3.4 Systém kontrolních nádrží budov aktivních pomocných provozů

Systém kontrolních nádrží se skládá z:

- Kontrolních nádrží TR
- Podávacích čerpadel odplyněné vody TD.
- Ejektoru TD vypouštění vody do venkovní kanalizace.

Přečištěné odplyněné vody na ionexových filtrech TR jsou skladovány v kontrolních nádržích TR a TD. Po zaplnění každé jednotlivé nádrže, odebrání vzorků a provedených radiochemických analýzách mohou být jejich obsahy použity k následujícím účelům:

- Radiochemické analýzy vyhovují parametrům pro čistý kondenzát. Vodu lze přečerpat do nádrží čistého kondenzátu pro použití ve spotřebičích primárního okruhu.
- Radiochemické analýzy vyhovují parametrům pro čistý kondenzát a zároveň pro jejich vypuštění do venkovní kanalizace. Vodu lze dále použít nebo vypustit.
- Radiochemické analýzy nevyhovují kritériím pro čistý kondenzát nebo pro vypouštění do venkovní kanalizace. V tom případě je obsah nádrže nutno přepustit zpět do skladovacích nádrží odpadních vod a vést znovu na přepracování do systému odparky TR.

11.2.4 Systém skladování kapalných radioaktivních odpadů

Systém skladování odpadních vod (TW) je určen k dlouhodobému skladování kapalných radioaktivních odpadů včetně použitých a aktivních náplní ionexových filtrů. Systém je umístěn vždy v příslušné budově pomocných aktivních provozů a je společný pro hlavní výrobní blok. Skládá se ze systému velkoobjemových skladovacích, rezervních a havarijních nádrží aktivního koncentrátu, velkoobjemových skladovacích a rezervních nádrží pro skladování aktivních sorbentů, sedimentační nádrže a pomocných zařízení (čerpadel a ejektorů). Pomocí čerpadel a manipulace na propojovacích trasách lze aktivní odpady včetně kalů přečerpávat mezi jednotlivými nádržemi dle potřeby.

Obr. 131. Systém skladování odpadních vod – schematický náčrt

Základním účelem systému TW je příjem a skladování radioaktivních koncentrátů, získaných ze zpracování aktivních vod a znehodnocených sorbentů do příslušných skladovacích nádrží RA odpadů. Množství skladovaných kapalných RA odpadů je omezeno na maximální povolené množství:

- Koncentráty z odparek max. 4000 m^3
- Použité aktivní ionexy (sorbenty) max. 460 m^3

Hlavní funkcí systému je skladování kapalných radioaktivních odpadů a použitých ionexů, přičemž dalšími podpůrnými funkcemi jsou udržování chemického režimu v nádržích (alkalizace) a přečerpávání kapalných RA odpadů na další zpracování pomocí bitumenační linky nebo geopolymerací.

Abnormálním provozním režimem je odstraňování následků potenciální mimořádné události, tj. poškození některé ze skladovacích nádrží RA odpadů, spojeného s únikem radioaktivního média do prostoru místností poškozené nádrže. Místnosti skladovacích nádrží kapalných RA odpadů jsou obloženy plechy z nerezové oceli do výšky maximálně možného zalití skladovaným radioaktivním médiem, podlahy jsou vyspádovány k podlahovým jímkám, ve kterých jsou umístěny kontrolní snímače na měření hladiny. Pokud hladina v některé jímce signalizuje únik - porušení těsnosti některé nádrže, je nutno co nejdříve začít přečerpávat zbylý obsah z porušené nádrže a vyteklé kapalné radioaktivní médium do rezervní nádrže pro koncentrát, aby filtry vzduchotechniky odsávacích systémů byly co nejméně zatíženy.

11.2.5 Zpracování radioaktivních odpadů technologií bitumentace

Základní technologické zařízení EDU, které je určeno k finálnímu zpracování kapalných RA odpadů, je bitumenační linka. Tato linka je umístěna v objektu Zpracování radioaktivních odpadů (ZRAO), obsahuje dvě stáčecí místa a dvě dopravníkové trasy. Kapalné radioaktivní koncentráty jsou dle potřeby přečerpávány ze skladovacích nádrží TW v budově aktivních pomocných provozů 1 do budovy aktivních pomocných provozů 2. Koncentrát ze zaplněné skladovací nádrže 7TW v budově aktivních pomocných provozů 2 lze přečerpávat na ZRAO do zásobních nádrží linky. Přečerpávání se provádí pomocí monžíku, resp. ponorným kalovým čerpadlem. V zásobních nádržích linky lze provést chemickou úpravu koncentrátu na požadované pH 11 – 11,5.

Bitumen je dopravován dopravníkem živic do skladovací nádrže, kde je skladován při teplotě cca 120 – 130°C. Tekutý bitumen je dopravován čerpadly do provozní nádrže, kde je dále vyhříván na teplotu min. 120°C.

V zásobních nádržích linky je po chemické úpravě pH koncentrát předehříván na cca 60°C a je prováděna homogenizace míchadlem. Dále je přečerpán do denní nádrže linky, kde je udržován při teplotě cca 80°C a homogenizován míchadlem. Zahuštěný koncentrát je za stálé homogenizace vstřikován dávkovacími čerpadly do filmové rotorové odparky. Současně je do filmové rotorové odparky dávkován roztavený bitumen. Do bitumenu jsou v případě potřeby dávkována aditiva. Trasy bitumenu včetně čerpadel a odparky jsou vyhřívány parou tak, aby nedošlo k jeho zatuhnutí.

V odparce dochází pohybem rotoru k dokonalému promísení obou médií a odpaření vody v tenké (filmové) vrstvě na stěnách pláště. Vzniklý produkt (směs bitumenu a RA odpadu) vytéká přes uzavírací kohout do ocelového sudu, umístěného na stáčecím místě. Ze sudu lze pomocí manipulátoru odebírat vzorky k radiochemické kontrole.

Po zaplnění jsou sudy přepravovány na válečkovém dopravníku k zavíčkovacímu zařízení. Plné zavíčkované sudy se dále transportují na pracoviště jeřábníka, který je pomocí speciálního uchopovacího zařízení na jeřábu dopraví ke krátkodobému uložení v operativním skladu. Odtud jsou sudy převáženy do expedice a následně na úložiště RA odpadů (ÚRAO).

Brýdové páry, vzniklé při odpaření koncentrátu, jsou odsávány do kondenzátoru, nekondenzovaný podíl je odváděn vzduchotechnikou z odplyňovače do odlučovače kapek. Kondenzát brýdových par je veden samospádem do odlučovače oleje, kde je snížen obsah olejovitých látek v brýdovém kondenzátu. Takto vyčištěný brýdový kondenzát je veden do pomocné nádrže a dále samospádem do nádrží odpadních vod, které jsou přečerpávány čerpadly zpět do budovy aktivních pomocných provozů 2 na čištění.

K zajištění provozu slouží pomocné systémy jako je vzduchotechnika, systém chladicí vody, chladné vody, systém nízkotlakého vzduchu, systém perchlorethylenu pro čištění tras od bitumenu, systém sběru a zpracování odpadních vod a speciální kanalizace, systémy SKŘ a elektro, systém dozimetrické a radiační kontroly a systém přívodu topení a technologické páry vč. odvodu kondenzátu.

11.2.5.1 Složení bitumenového výsledného produktu

Složení bitumenového produktu a dávkový příkon na povrchu sudu závisí na složení zpracovávaného kapalného radioaktivního odpadu (koncentrátu) a parametrech technologického procesu (obsah fixovaných solí ve výsledném produktu).

Příkon dávkového ekvivalentu na povrchu sudů se pohybuje v rozmezí 50-200 µSv/h, sumární aktivita gama v rozmezí 10^7 – 3 x 10^8 Bq při hmotnosti sudů 190 - 250 kg. Povrchová kontaminace sudů je v souladu s kritérii přijatelnosti pro uložení v ÚRAO udržována na hodnotě As < 3 Bq/cm^2. Obsah solí v bitumenovém produktu se pohybuje v rozmezí 25 - 40% hmotnostních.

11.2.5.2 Bezpečnostní požadavky při práci s bitumenovým produktem

Při plnění bitumenového produktu do sudů může dojít k jeho termickému rozkladu. Proto je součástí zařízení bitumenační linky vzduchotechnický systém pro odvod vzduchu a kouře. Systém je vybaven automatickými požárními klapkami. Realizace zálohovaného elektrického napájení vzduchotechniky splňuje kritérium odolnosti proti jednoduché poruše.

Samostatnou kapitolou, vyžadující si patřičnou pozornost, jsou technologické parametry procesu. Proces bitumenace je citlivý na měnící se charakteristiky vstupních surovin (složení koncentrátu, složení bitumenu a případných aditiv), teploty, průtoky médií. Změny jejich parametrů mohou, kromě zhoršení parametrů finálního produktu, vést ke vzniku nánosů na rotoru filmové rotorové odparky a následnému zvýšení jeho vibrací. Tyto projevy a nenulové riziko projevu exotermní reakce v bitumenovém produktu představují potenciální zdroje vzniku poruch. Proto je systém vybaven dochlazovací nádrží. Dochlazovací nádrž je navržena na dochlazení současně až čtyř 200 l sudů s projevy termického rozkladu bitumenovaného produktu. Sudy se vkládají do dochlazovací nádrže, když teplota jejich povrchu překročí 185°C.

Bitumenační linka je ovládána dálkově z operátorského pracoviště dozorny ZRAO. Řídicí systém umožňuje regulaci průtoku koncentrátu, regulaci průtoku bitumenu, ovládání a signalizaci ventilu stáčení, ovládání kužele stáčecího místa, ovládání a signalizaci čerpadla mazání, ovládání armatur doplňování z budovy aktivních pomocných provozů 2 a ovládání čerpadel.

11.2.6 Zpracování radioaktivních odpadů technologií geopolymerace

11.2.6.1 Základní charakteristika technologie zpracování RAO do geopolymerní matrice

Alternativní technologií, která se na EDU používá od roku 2010 na zpracování zejména semi-kapalných radioaktivních odpadů (použité sorbenty, kaly, krystalické sedimenty a jejich směsi) je technologie geopolymerizace.

Geopolymerní matrice, která se v EDU používá pod obchodním názvem SIAL, poskytuje mnoho výhod, hlavně při zpracovávání problematických druhů kapalných odpadů. Její vynikající mechanické vlastnosti umožňují vysoké plnění odpadu do matrice, čímž se snižuje objem finálního produktu, který končí na úložišti. Díky vysoké integritě finální formy a nízké vyluhovatelnosti radionuklidů do vody je geopolymerní matrice vhodnou balenou formou pro uložení kapalných RAO.

Technologie geopolymerzirace je založená na kombinaci dvou technologických procesech – solidifikaci a stabilizaci. Solidifikace je proměna a uzavření kontaminovaného materiálu do monolitické, mechanicky odolné a omezeně propustné struktury. Jde o přeměnu sypkého anebo kapalného odpadu na pevný materiál, přičemž se vytvářejí fyzikální bariéry zpomalující anebo znemožňující transport toxických látek do prostředí. Stabilizace je proces chemického vázání nebezpečných látek do stabilní a málo rozpustné formy.

Na základě dobrých vlastností výsledných produktů fixace semi-kapalných RAO jejich směsí v geopolymerní matrici byli postupně vydané dozorovými orgány v ČR rozhodnutí schvalující balenou formu a postupy zpevňování kalů a ionexů v nejširším rozsahu jejich obsahu v zpevňovaném RAO a zapracované do limit a podmínek bezpečného provozu ÚRAO Dukovany.

Produkty fixace RAO do geopolymerní matrice vykazují vlastnosti v rámci stanovených limitů a podmínek a taktéž vykazují srovnatelné nebo lepší výsledky než cementová matrice, pro kterou byli vykonané bezpečnostní analýzy.

Bezpečnostní analýzy vykonané dodatečně pro produkty v geopolymerní matrici pro ÚRAO Dukovany v souladu s výš uvedeným prokázali, že není nutné omezovat jejich

ukládání v povrchovém úložišti v rozsahu větším, jako je to platné pro cementový produkt.

Zpracování kapalných RAO na EDU se realizuje pomocí mobilních technologických linek, které se instalují v prostorách těsné blízkosti místa skladování zpracovávaných RAO. Mobilní technologická linka je sestavená z několika základních jednotek, které zabezpečují následující operace:

- Čerpání RAO ze skladovací nádrže a transport do upravovací jednotky.

  Na čerpání RAO slouží čerpadla různého typu, kterých výběr se řídí hlavně charakterem vyčerpávaných RAO (fyzikálně-chemické a radiochemické vlastnosti) a prostorovými podmínkami. Na přemístění sací hlavice čerpadla v prostoru nádrže jsou potřebné manipulační prostředky (manipulační břemeno, dálkově ovládaný vozík). Odčerpávané vody jsou potrubními trasami postupně dávkované do předupravovací jednotky.

- Předúprava zpracovávaných RAO – odvodňování.

  Po vyčerpání se RAO upravují do formy, která je vhodná pro proces solidifikace (úprava obsahu sušiny na optimální hodnoty), pomocí filtrace nebo odstřeďováním. Odstraněná volná voda se vrací nazpět do skladovacích nádrží. Upravený odpad se z odvodňovací jednotky řádně dávkuje do ocelových MEVA sudů, v kterých se odpad solidifikuje.

- Solidifikace RAO v sudech.

  Upravený odpad v 200 dm3 sudech se zpevňuje na fixační jednotce. Obsah sudu je promícháván zásuvným míchadlem a geopolymerní matrice je do sudu kontinuálně dopravována pomocí dávkovače sypkých hmot. Proces míchání probíhá při normální teplotě. V průběhu zrání produktu, kdy probíhá polykondenzační reakce, může dojít k nárůstu teploty obsahu sudu na 45 až 55°C.

- Manipulace a transporty.

  Zařízení slouží k manipulaci a transportu obalových souborů mezi jednotlivými pracovišti a při odvozu finálního produktu na konečné úložiště. Taktéž slouží k manipulaci obalů se složkami geopolymerní matrice. Používají se různé vysokozdvižné a manipulační vozíky, zdvihací zařízení.

  Zařízení používané na vybírání, přepravu a solidifikaci kapalných RAO do geopolymerní matrice jsou dálkově ovládané a všechny činnosti jsou řízeny a monitorovány na centrálním řídícím pultu. Řídící pracoviště je zařízené na místě s nejlepší radiační situací, čímž se snižuje dávková zátěž operátorů zařízení.

Zařízení mobilních technologických linek pro fixaci RAO v geopolymerní matrici mají modulární konstrukci, což přináší následné výhody:

- jednotlivé moduly jsou lehce transportovatelné i do hůře přístupných míst na JE (zúžené průchody a pasáže, montážní otvory, dveře, schody apod.);
- zařízení možno lehce instalovat v blízkosti místa skladování zpracovaných RAO a rozmístění přizpůsobit existujícím prostorovým podmínkám, bez potřeby větších stavebních úprav.

11.2.6.2 Složení geopolymerního výsledného produktu

RAO fixované do geopolymerní matrice jsou produktem polykondenzace hlinito-křemičitanových anorganických složek s chemickým složením velmi blízkým průměrnému složení cementů. Hlavními složkami cementů i geopolymerní matrice jsou přírodní anorganické suroviny obsahující SiO2, Al2O3, CaO, MgO, Na2O, K2O, Fe2O3, a TiO2.

Složení výsledného produktu a dávkový příkon na povrchu sudu závisí na složení zpracovávaného kapalného radioaktivního odpadu (koncentrátu) a parametrech technologického procesu (obsah fixovaných solí ve výsledném produktu).

Výsledný produkt solidifikace kapalných RAO do geopolymerní matrice splňuje stanovená kriteria a limity pro jeho uložení v povrchovém úložišti ÚRAO Dukovany.

Dávkový příkon na povrchu sudu s konečným produktem typicky dosahuje hodnoty do 500 µGy.h-1, sumární aktivita gama je v rozmezí 1E8 – 4E8 Bq při hmotnosti sudů asi 275 kg. Povrchová kontaminace sudů je v souladu s kritérii přijatelnosti pro uložení v ÚRAO udržována na hodnotě As<3,0 Bq.cm-2. Obsah sušiny zpevněného RAO ve výsledném produktu se pohybuje v rozmezí 20-25 % hmotnosti.

11.2.6.3 Bezpečnostní požadavky při zpracovávaní RAO do geopolymerní matrice

Bezpečnost procesu zpracování a úpravy RAO do geopolymerní matrice byla prokázána předložením a posouzením bezpečnostní dokumentace k jednotlivým používaným zařízením a jejich aplikacím pro jednotlivé odpady v jádrových zařízeních. Pro každý samostatný případ jsou příslušnými dozorovými orgány ČR vydávány povolení.

[1] Limity a podmínky bezpečného provozu ÚRAO Dukovany, 200

11.2.7 Bezpečnostní požadavky na systém nakládání s RA odpady

11.2.7.1 Bezpečnostní klasifikace a kvalifikace

Bezpečnostní klasifikace zařízení je provedena v seznamu vybraných zařízení. Dle tohoto seznamu je klasifikována část zařízení systému sběru, zpracování a skladování kapalných RA odpadů a systému ZRAO jako BT3 podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. Pro systémy není požadovaná seismická kvalifikace.

11.2.7.2 Bezpečnostní požadavky z hlediska radiační ochrany

Systému sběru a skladování radioaktivních koncentrátů plní požadavek vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně, v platném znění, následovně:

- Při nakládání s kapalnými RA odpady, zejména sorbenty, je využíváno dálkových manipulací za stíněnými zdmi. Při nezbytných manipulacích (např. odběr vzorků) používají pracovníci signalizačních dozimetrů. Vzhledem k specifickým vlastnostem těchto RA odpadů se provádí alkalizace koncentrátu a profukování dusíkem nad skladovanými sorbenty. Manipulace jsou prováděny dle postupů stanovených v provozních předpisech.
- Nádrže umožňují shromažďování a skladování RAO.
    - Přístupnost k údržbě je dána projektem přístupových cest (žebříky, otvory). Snadná dekontaminace je dána volbou materiálu.
    - Zanášení je omezeno vhodnou volbou pH boritanových roztoků, nižším zahušťováním a je předmětem nových návrhů pro minimalizaci kalů.
    - Povrchové vrstvy usazenin jsou čerpatelné instalovanými čerpacími zařízeními.
    - Únikům je zabráněno tak, že nádrže jsou umístěny v oblícovaných kobkách odkud je možno uniklé RA odpady vracet do rezervních (havarijních) nádrží.
- Zařízení umožňuje provádět měření radiační kontroly dle monitorovacího plánu a měření množství skladovaných RAO. Nepřesnosti při shromažďování

RA koncentrátu byly eliminovány zavedením na sobě nezávislého měření hladiny.
- Kapalné RA odpady jsou tříděny a skladovány odděleně (koncentráty a sorbenty).
- Výbušnost a hořlavost je eliminována skladováním ve vodném prostředí, provětráváním dusíkem (potenciálně hořlavé a výbušné plyny) a odvětráváním.
- Odolnost stavby je dána železobetonovou konstrukcí.
- Systém umožňuje sbírat odpadní radioaktivní vody a zpracovávat je na doodparce, čímž se plní požadavek minimalizace kapalných RAO a opětovného využití kondenzátu.
- Úprava kapalných RA odpadů je prováděna v EDU u koncentrátů bitumenací, u znehodnocených ionexových sorbentů fixací do geopolymerní matrice SIAL.
- Oleje jsou dekontaminovány praním v demineralizované vodě a dekantací, těkavé organické kapaliny jsou zpracovávány vakuovou destilací.

11.2.7.3 Bezpečnostní požadavky pro dodržení limitů RA výpustí

Pokud je provozní zásoba čistého kondenzátu v nádržích čistého kondenzátu vyšší než 500 m^3, může být kontrolní nádrž vypuštěna do venkovní kanalizace. Vypouštěná voda může být ředěna v ejektoru TD vodou z kompresorové stanice.

O vodách, vypouštěných z kontrolních nádrží do venkovní kanalizace, musí být vedena evidence v následujícím rozsahu:

- Datum vypouštění.
- Označení vypouštěné nádrže.
- Přesné množství vypuštěné vody v m$^{3.}$
- Případný poměr ředění.
- Sumární aktivita gama vypouštěné vody.
- Objemová aktivita tritia ^{3}H.
- Začátek vypouštění (hodina, minuta).
- Ukončení vypouštění (hodina, minuta).
- Čas povolení k vypouštění.
- Označení vzorku.

V případě překročení zásahových úrovní radiace v odpadním kanále, je vypouštění kontrolní nádrže okamžitě ukončeno.

Rozhodujícími ukazateli pro vypouštění kontrolní nádrže do venkovní kanalizace jsou parametry:

- Sumární objemová aktivita radionuklidů gama (musí být vždy nižší než I. zásahová úroveň)
- Objemová aktivita tritia ^{3}H (musí být vždy nižší než II. zásahová úroveň) Zásahové úrovně nemáme – musí doplnit ČEZ

Pro vypouštění tritia jsou stanoveny tyto limity:

- Roční maximální provozní limit: 20 TBq/rok
- Měsíční maximální provozní limit: 4 TBq/kalendářní měsíc
- Roční minimální provozní limit: 12 TBq/rok

Tyto provozní limity zabezpečí, že v průběžném roce nebude překročen autorizovaný limit, stanovený SÚJB a nevznikne v EDU natolik velká zásoba aktivity tritia, kterou by se v následujícím roce nemuselo podařit vypustit (vzhledem k požadavku nepřekročení autorizovaného limitu). Roční výpusti tritia do vodoteče se v provozní praxi pohybují v rozmezí 10 až 20 TBq.

11.2.8 Hodnocení provozu systém nakládání s RA odpady

11.2.8.1 Technicko-organizační prostředky omezení vlivu na okolí

Pro systémy, pracující s aktivními médii, jsou kromě opatření klasické bezpečnosti řešeny otázky radiační hygieny, a to především ochrany před vnějším ozářením a vnitřní nebo vnější kontaminací radionuklidy. Z hlediska vlivu na okolí EDU se jedná o nepřekročení míry obsahu radionuklidů umožňující uvádění výpustí do životního prostředí podle § 57 Vyhl. SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně a zabránění nekontrolovatelným únikům aktivních médií mimo EDU pomocí systému technologických a stavebních bariér. Z hlediska vlivu na personál se jedná především o systémy odstínění obsluhovaných prostor, radiační kontroly, osobní dozimetrie a vzduchotechniky, které jsou podrobně popsány v kap. 12.3.2.

Vlastní technologické systémy pracují jednak s velmi nízkoaktivními kapalnými médii (čištění prádelenských vod, čištění odluhu parogenerátorů, hospodářství čistého kondenzátu), kde je zanedbatelná problematika vnějšího ozáření a jednak se nízko až středněaktivními kapalnými médii (čištění odpadních radioaktivních vod, skladování koncentrovaných kapalných RA odpadů, bitumenace kapalných RA odpadů) v prostorech nepřístupných za provozu. Pro údržbu a opravy jsou tyto prostory omezeně přístupné pouze po místní dozimetrické kontrole a případné dekontaminaci.

Stupeň automatizace řízení technologických procesů odpovídá technologické náročnosti jednotlivých uzlů. Automatizovány jsou procesy odstřeďování, odpařování, bitumenace a geopolymerace. Ostatní procesy, vyžadující pouze jednoduché časově nenáročné manipulace, jsou ovládány obsluhou z dozoren nebo z místních štítů, eventuálně za součinnosti jednoduchých regulačních okruhů. V dozornách jsou rovněž soustředěny veškeré měřené údaje a signalizace. Zvláště se jedná o měření hladin v nádržích s aktivními médii a měření teplot v tepelných procesech odpařování a bitumenace. Tam, kde je to s ohledem na rychlost procesu nebo z hlediska možných úniků účelné, je řešena výstražná signalizace měřených údajů. Manuální práce s materiálem se provádí pouze při přípravě chemických reagentů a při manipulacích s prázdnými sudy a plnými kontejnery na ZRAO.

Úniky ze zařízení jsou omezeny na minimum použitím vlnovcových nebo dvojitě těsněných armatur, aplikací svarových spojů a zvýšenými kontrolami a preventivní údržbou požadovanou pro vybraná zařízení. Proti přeplnění jsou nádrže s aktivními médii v případě selhání měřicích prvků, akčních členů nebo lidského faktoru chráněny jednak přepady, svedenými do jiných nádrží nebo do speciální kanalizace, jednak hydrouzávěry vyústěnými do nepřístupných kobek se sběrnými jímkami nebo kulovými vpustěmi speciální kanalizace. V těchto vpustích a jímkách je zajištěno měření úniků s vyvedením signalizace do dozorny.

Zanášení potrubních systémů je minimalizováno použitím vyšších spádů, přímoprůtočných armatur a proplachů potrubních tras. Nevratnému usazování mechanických nečistot v nádržích je bráněno systémy recirkulace, mechanického míchání a rozrušování usazenin směsí tlakového vzduchu a vody.

Provoz ZRAO přímo neovlivňuje životní prostředí. Prostory stavební části a technologických systémů jsou odsávány vzduchotechnickým systémem, odtah je následně zpracováván společně s plynnými výpustěmi z hlavních výrobních bloků.

11.2.8.2 Spolehlivost a životnost systému

Projektovaná životnost systému sběru a zpracování odpadních vod a systému sběru a skladování kapalných RA odpadů je spojená s životností EDU, přičemž po ukončení provozu EDU je možno počítat s využíváním skladů radioaktivních odpadů ještě mnoho let v průběhu vyřazování z provozu. Systém se využívá od roku 1985.

V současné době jsou skladovací kapacity kapalných RA koncentrátů a znehodnocených sorbentů čerpány na méně než 20% instalované kapacity. Dostatečný volný objem ve skladovacích nádržích umožňuje bezpečný provoz v oblasti nakládání s kapalnými RA odpady po dobu minimálně 10 let a to i v případě dlouhodobého odstavení

technologie ZRAO. Od roku EDU má smluvně zajištěnou alternativní technologii úpravy kapalných RA odpadů do geopolymerních matric.

11.2.8.3 Funkční zkoušky a kontroly

Systém se skládá jednak z tlakových celků, pracujících však s nízkým tlakem, a jednak z nádrží s atmosférickým tlakem. Z pohledu funkčních kontrol a zkoušek nejsou předepsány žádné nadstandardní testy.

Pro monžíky TW, filtrační linky TR a TD, odparky a doodparky TR a TD a mechanické filtry TR jsou předepsány plánované tlakové a defektoskopické zkoušky v souladu s vyhláškou SÚJB č. 309/2005 Sb. o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení a vyhláškou SÚJB č. 132/2008 Sb. o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností.

11.2.9 Připravenost systému nakládání s RA odpady na další provoz

Zdrojové členy aktivity pro hodnocení vlivu zvýšení tepelného výkonu bloku na 105 % na systémy nakládání s kapalnými RA odpady pro gadoliniové palivo druhé generace Gd-2M s obohacením 4,38% jsou uvedeny výše (viz kap. 11.1 této zprávy). Vzhledem k tomu, že hodnoty pro původní ruské palivo a palivo Gd-2M při zvýšeném výkonu jsou řádově srovnatelné a vzhledem k tomu, že provozní hodnoty a dosažená maxima provozních hodnot jsou o 2 až 3 řády nižší, lze konstatovat, že na systémy nakládání s kapalnými RA odpady nemá práce na zvýšeném výkonu s palivem Gd-2M vliv a systém je i pro tento provoz vyhovující. Rovněž se předpokládá tvorba stejného množství se stejným radionuklidovým složením kapalných radioaktivních odpadů. Radionuklidové složení aktivity radioaktivního odpadu je závislé na charakteru kontaminace, místě vzniku a jeho provozní historii. U odpadů kontaminovaných přímo vodou primárního okruhu převažuje Cs-137 a Cs-134, u odpadů kontaminovaných zprostředkovaně přes depozit v zařízeních (při údržbě) převažuje Co-58, Co-60 a Mn-54.

Množství produkovaného radioaktivního odpadu ročně včetně jeho očekávaného množství do roku 2027 uvádí Tab. 44..

Tab. 44. Průměrná roční produkce kapalných RAO v EDU1-4 a jejich očekávané množství do roku 2027

Typ RAO	Skladováno k 4/2015 [m³]	Stávající prům. roční produkce [m³]	Predikce produkce do roku 2027		
			Produkce za 13 let [m³]	Počet sudů [ks]	Celkem k uložení (současná + nová produkce) [m³]
Ra koncentrát*	570	300	3 900	8 700	4 470
Ionex	20	6	78	600	98
Kal	250	6	78	650	328
Celkem	**840**	**312**	**4 056**	**9 950**	**4 896**

* normalizováno na hustotu 200 kg/m³

Z hlediska platné klasifikace RAO (§ 48, vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb.) jsou a budou na EDU1-4 produkovány pouze:

- přechodné radioaktivní odpady (po max. 5 letech skladování vykazují radioaktivitu nižší, než jsou uvolňovací úrovně);
- nízko a středně radioaktivní odpady krátkodobé (poločas obsažených radionuklidů je menší než 30 let a hmotnostní aktivita dlouhodobých alfa zářičů

je omezena na max. 4 000 kBq/kg a střední hodnotu 400 kBq/kg v celkovém objemu odpadů v jednotlivém obalovém souboru za kalendářní rok);

- nízko a středně radioaktivní odpady dlouhodobé.

Nakládání s radioaktivními odpady bude i v další fázi provozu EDU odpovídat současné praxi, tedy základním cílem zůstane minimalizace objemu odpadu a aktivity obsažené ve výpustech. RAO budou upravovány tak, aby vyhovovaly podmínkám přijatelnosti na ÚRAO, kam budou v souladu s Koncepcí nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v ČR (MPO, 2001) ukládány.

Volný objem ÚRAO EDU k 1. 1. 2015 je 44 171 m^3 (tj. 80,3 % z celkové kapacity úložiště) a je dostatečný pro uložení všech RAO jak z EDU1-4, tak z ETE, a to i v případě prodloužení jejich provozu na 40 let (MPO, 2001). Množství vzniklého RAO z EDU1-4 za období 2009-2014 uvádí Tab. 45..

Tab. 45. Množství RAO z EDU1-4 v letech 2009-2014 uloženého na ÚRAO Dukovany

rok	Bitumenovaný RAO	RAO zpevněný do geopolymerní matrice (SIAL)	Nezpevněný nebo kusový RAO*	CELKEM		
	sudy [ks]	jednotky [ks]	jednotky [ks]	[t]	[m^3]	jednotky [ks]
2009	735	-	1 428	334	432,6	2 163
2010	982	218	673	365	384,6	1 873
2011	1 120	923	24	508	417,8	2 065
2012	1 043	697	21	433	353,0	1 761
2013	987	216	154	330	272,0	1 357
2014	939	1 049	73	557	415,6	2 061
CELKEM	**5 806**	**3 103**	**2 373**	**2 527**	**2 275,6**	**11 280**

Pozn. * stavební suť, plasty, drobný kovový odpad (pevné odpady)

Kapalné radioaktivní odpady budou odpařováním zahuštěny a následně zpevněny bitumenací (radioaktivní koncentrát z odpadních vod), vysycené iontoměniče a kaly budou upravovány fixací do geopolymerní matrice (SIAL). Systémy sběru, zpracování odpadních vod a nečistého kondenzátu a systémy sběru a skladování kapalných RAO jsou provozovány spolehlivě a v souladu s projektem. Systémy splňují předpoklady bezpečného a spolehlivého provozu minimálně do roku 2025.

11.3 Systémy nakládání s plynnými odpady

11.3.1 Účel systému nakládání s plynnými odpady

Plynné RA odpady jsou ve své podstatě vzdušiny uvolňující se z kapalných medií primárního okruhu a pomocných systémů a pohybující se v aktivních technologických okruzích nebo vyskytující se v místnostech kontrolovaného pásma EDU kontaminovaných radioaktivními plyny a aerosoly, jejichž předpokládaná aktivita nedovoluje nekontrolované vypuštění do vnější atmosféry. Filosofie zpracování plynných RA odpadů je poměrně jednoduchá a je založena na odloučení RA látek z kontaminovaných vzdušin filtrací a zředěním kontaminantů na úroveň, vypustitelnou do

životního prostředí. Kontaminované filtry jsou dále zpracovány jako pevné RA odpady (viz kap. 11.4).

11.3.2 Koncepce projektového řešení systému nakládání s plynnými odpady

11.3.2.1 Zdroje plynných RA odpadů

Plynné odpady jsou tvořené především radionuklidy vzácných plynů, tritiem, radioaktivními aerosoly a radionuklidy jódu a ostatních halogenů. Základním zdrojem aktivity plynných médií je kontaminovaná voda primárního okruhu včetně ostatních návazných technologických systémů[22]. Dalším zdrojem je vzduch, aktivovaný v šachtě reaktoru, v místnostech s technologií s možností vzniku plynných netěsností (viz kap. 11.1.2). Do atmosféry místností kontrolovaného pásma EDU se aktivita dostává za normálního provozu z technologických zařízení jak plynovými netěsnostmi (zanedbatelné), tak v důsledku odparů z úniků kapalných médií.

Zdroje plynných radioaktivních odpadů je možno podle jejich původu rozdělit do následujících základních skupin:

- Systém odplyňování chladiva primárního okruhu.
- Plynné úniky ze zařízení primárního okruhu.
- Velkoobjemové nádrže kapalných RA odpadů.
- Odvzdušnění primárního a sekundárního okruhu

Odplyňovačem protéká za provozu reaktoru chladivo odpouštěné přes čistící stanici TC (SVO 1) z primárního okruhu a určené buďto k přímému opětovnému doplnění do primárního okruhu nebo k přečistění na čistící stanici TE (SVO 2). V odplyňovači odloučená parovzdušná směs obsahuje po kondenzaci páry nekondenzující plyny, určitý podíl těkavých látek a nepatrná množství aerosolů pevných látek. Po kondenzaci je tento proud vzdušin veden na spalování vodíku TS 10, 50, kde dojde ke spálení podílu vodíku ve směsi a nespalitelné plynné zbytky jsou vedeny dále na některou z větví čistící stanice TS 20, 40, 60.

Plynné úniky ze zařízení primárního okruhu a z ostatních technologických systémů, které obsahují radioaktivní materiály a jsou odsávány ventilačními systémy z prostor, lze charakterizovat jako plynné látky, případně aerosoly hermetické zóny, v šachtě reaktoru a bazénu vyhořelého paliva a odpar ze zařízení a z kapalných úniků do místností kontrolovaného pásma včetně budov aktivních pomocných provozů.

11.3.2.2 Systém čištění plynů hlavního výrobního bloku TS 20, 40, 60[23]

Systém odsávání a čištění technologického odvzdušnění TS 20, 40, 60 se používá na čištění plynů přivedených ze systému spalování vodíku TS 10 ,50 a z odvzdušnění nádrží nečistého kondenzátu TD při práci bloku v nominálním režimu, při malé a velké bórové regulaci, a v nenominálním režimu při regeneraci zeolitu (obnovení čisticí schopnosti linky).

V technologickém systému TS 20, 40, 60 je na snížení aktivity radioaktivních vzácných plynů využívaná kontinuální adsorpce vzácných plynů na filtračních kolonách, čímž se zdrží jejich postup systémem a dochází k postupnému radioaktivnímu rozpadu

[22] Podstatné zvýšení aktivity v chladivu a následně i ve výpustech nastává při porušení pokrytí palivových článků, kdy dochází, ke zvýšení průniku zejména plynných produktů štěpení paliva do chladiva - pro původní návrh systémů zpracování plynných RA odpadů se v návrhu systému uvažovalo se stavem kdy, za limit režimu normálního provozování JE s nehermetickým pokrytím palivových článků se stanovuje stav, kdy existuje 1% netěsných palivových článků a 0,1% palivových článků, majících velké defekty.

[23] Detailní popis systému je uveden v kap. Error: Reference source not found.4 včetně schématického náčrtu

po dobu jejich setrvání v sorbentu. Zajišťuje se tím snížení velikosti úniku radioaktivních produktů do životního prostředí a tím ohrožení obyvatelstva na nejnižší míru.

Systém odsávání a čištění technologického odvzdušnění je začleněný do pomocných systémů primárního okruhu a je společný pro hlavní výrobní blok. Tvoří ho tři shodné, vzájemně zaměnitelné linky. Jednotlivé linky se skládají z těchto zařízení: dva tepelné výměníky, dva odlučovače vlhkosti, jeden samočisticí filtr, dva zeolitové filtry, jeden adsorbér, dvě dmychadla, dva elektrické ohřívače, dva prachové filtry a jedna nádrž - hydrouzávěr. Na výstupu všech tří linek je společný jódový filtr.

11.3.2.3 Systém čištění technologického odvzdušnění nádrží TS 70 a TS 73[24]

Systém čištění technologického odvzdušnění nádrží zahrnuje dva provozně nezávislé systémy:

- Čištění technologického odvzdušnění nádrží - systém TS 70
- Čištění vzduchu z evakuace monžíků - systém TS 73

Dvě shodné a zaměnitelné linky systém TS 70 jsou určeny k čištění vzduchu od radioaktivních aerosolů, jódu, oxidů dusíku a případných těkavých organických nečistot z technologického odvzdušnění nádrží úložiště kapalných radioaktivních odpadů, sběrných nádrží odpadních vod, nádrží bórového koncentrátu a z odvzdušnění deflegmátorů sběrné nádrže koncentrátu bóru. Jedna je vždy v provozu, druhá je v rezervě.

Každá linka sestává ze skruberu, aerosolového filtru, parního ohříváku a adsorbčního filtru. Proudění čištěné vzdušiny v systému zabezpečují dmychadla. Jako ochrana proti přetížení provozovaného dmychadla a vytváření vysokého podtlaku v kobkách nádrží kapalných radioaktivních odpadů je připojen k sacímu kolektoru dmychadel TS70 filtr přisávaného vzduchu do systému z místnosti.

Systém TS 73 je určený k čištění vzduchu od kapalných i pevných radioaktivních aerosolů a vlhkosti ze vzduchu, z evakuace monžíků úložiště kapalných radioaktivních odpadů.

Obr. 132. Čištění technologického odvzdušnění nádrží TS 70 a TS 73 – schematický náčrt

11.3.3 Provozní režimy systému nakládání s plynnými odpady

Pro provozní režimy systému nakládání s plynnými odpady jsou rozhodující jednotlivé zásahové úrovně, stanovené v programu monitorování (viz kap. Error: Reference source not found).

11.3.3.1 Provoz systému čištění plynů hlavního výrobního bloku TS 20, 40, 60

Stanice čištění plynů hlavního výrobního bloku tvoří významnou bariéru pro snížení úniků radioaktivních plynných odpadů do okolí EDU. Zabezpečuje snížení úniku radioaktivních produktů do životního prostředí a tím ohrožení obyvatelstva na nejnižší možnou dosažitelnou míru. Maximální účinnost systému je závislá na správné funkci systému spalování vodíku TS 10, 50, v docílení optimálních průtoku media, jak v systému spalování, tak v nastavení optimálnímu průtoku z obou bloků na systém čištění technologického odvzdušnění.

Systém čištění plynů hlavního výrobního bloku zabezpečuje svojí funkcí:

- Snížení aktivity plynů, vznikajících v technologickém okruhu, před jejich vypuštěním do životního prostředí.

[24] Detailní popis systému je uveden v kap. Error: Reference source not found.4

- Odsávání vzdušiny z nádrží nečistého kondenzátu a její čištění.
- Dopravu vyčištěné vzdušiny do ventilačního komína příslušného hlavního výrobního bloku.

Systém TS 20, 40, 60 spolehlivě pracuje v projektovém rozsahu, to znamená, že plně adsorbuje aktivní plynné produkty, projevující se ve snížení výpustí ze 4 x 10^9 Bq/m^3 na 2 x10^7 Bq/m^3, tato účinnost (snížení aktivity o dva řády) je neměnná vůči hodnotám vstupujících RA odpadů do systému TS 20, 40, 60.

11.3.3.2 Provoz systému čištění technologického odvzdušnění nádrží TS 70 a TS 73

Stanice čištění technologického odvzdušnění tvoří významnou bariéru pro snížení úniků radioaktivních plynných odpadů do okolí EDU. Zabezpečuje snížení úniku radioaktivních produktů do životního prostředí a tím ohrožení obyvatelstva na nejnižší možnou dosažitelnou míru.

Systém čištění technologického odvzdušnění nádrží zabezpečuje svojí funkcí:

- Kontinuální provětrávání nádrží z dočasného úložiště kapalných RA odpadů a nádrží odpadních vod.
- Odsávání a čištění vzdušiny a plynů, po odplynění kondenzátu brýdové páry z deflegmátorů TD a TR v průběhu jejich práce.
- Čištění odsávané paroplynné směsi od kapalných i tuhých radioaktivních aerosolů jódu, kysličníků dusíku a případných těkavých organických nečistot z technologického odvzdušnění nádrží.
- Dopravu vyčištěné vzdušiny do ventilačního komína příslušného hlavního výrobního bloku.

Systém TS73 je určený k čištění vzduchu od kapalných i pevných radioaktivních aerosolů a vlhkosti ze vzduchu, z evakuace monžíků úložiště kapalných radioaktivních odpadů.

11.3.4 Bezpečnostní požadavky na systém nakládání s plynnými odpady

11.3.4.1 Bezpečnostní klasifikace a kvalifikace

Bezpečnostní klasifikace zařízení je provedena v seznamu vybraných zařízení podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. Systémy TS 20, 40, 60 stejně jako TS 70 a TS 73 jsou dle tohoto seznamu klasifikovány jako BT3. Pro systémy není požadovaná seismická kvalifikaci.

11.3.4.2 Bezpečnostní požadavky z hlediska radiační ochrany

Systémy nakládání s plynnými odpady pracují s radioaktivními médii. Technologický proces je proto navržen tak, aby ohrožení provozního personálu a životního prostředí bylo sníženo na nejnižší možnou míru. Zařízení jsou umístěna v kontrolovaném pásmu a přístup k zařízením systému je možný jen přes hygienickou smyčku.

11.3.5 Hodnocení provozu systému nakládání s plynnými odpady

Kontrola průniku radioaktivních produktů do neaktivních médií je průběžně kontrolovaná systémem radiační kontroly a odběrem vzorků na důležitých místech technologie. Za celou dobu provozu oba systémy pracovaly v požadovaných pracovních rozsazích a nepřekročily provozní limity.

Čerpání životnosti se posuzuje podle skutečného stavu zařízení při pravidelných zkouškách, kontrolách a obhlídkách. K dispozici je dostatečný počet náhradních dílů pro zajištění životnosti po celou dobu provozu elektrárny.

11.3.6 Připravenost systému nakládání s plynnými odpady na další provoz

Životnost systému je plánovaná na celou dobu životnosti elektrárny. Pro nejvíce namáhané části systému jsou objednány náhradní díly v takovém rozsahu, aby provoz zařízení byl udržen po celou dobu životnosti. Systém je provozován v souladu s provozním předpisem a plní svou projektovou funkci. Systémy nakládání s plynnými odpady jsou provozovány spolehlivě a v souladu s projektem. Systémy splňují předpoklady bezpečného a spolehlivého provozu minimálně do roku 2025.

11.4 Systémy nakládání s pevnými odpady

11.4.1 Účel systému nakládání s pevnými odpady

Systém sběru pevných RA odpadů, jejich shromažďování, třídění a dočasné skladování ve skladu pevných RA odpadů je určen k dočasnému skladování pevných RA odpadů z provozu EDU. Sklad pevných RA odpadů vytváří potřebnou skladovací kapacitu pro optimalizaci, zpracování nebo úpravy skladovaných pevných RA odpadů do formy, přijatelné pro uložení v úložišti RA odpadů EDU.

Metody zpracování nebo úpravy jsou nízkotlaké lisování, drcení, dělení, vysokotlaké lisování, přetavení kovových RA odpadů (železo, nerez a hliník) nebo spálení ve spalovně RA odpadů a následné uložení popela. Systém sběru, třídění a dočasného skladování pevných RA odpadů vytváří podmínky pro efektivní ochranu personálu EDU a obyvatel okolí elektrárny před účinky ionizujícího záření, pocházejícího z pevných RA odpadů, a před nekontrolovaným rozšiřováním kontaminace v kontrolovaném pásmu a životním prostředí.

11.4.2 Koncepce projektového řešení systému nakládání s pevnými odpady

Z hlediska koncepce nakládání s pevnými RA odpady jsou odpady podrobeny:

- Shromažďování odpadů na určených místech.
- Jejich třídění podle druhu a aktivity.
- Zpracování a úpravě.
- Skladování v úložišti.

Projektovaná produkce pevných RA odpadů, členěná podle přibližné aktivity, je následující:

- Nízkoaktivní odpady (do cca 10^7 Bq/m^3) 150 m^3/rok
- Středněaktivní odpady (do cca 10^9 Bq/m^3) 50 m^3/rok
- Vysoceaktivní odpady (nad cca 10^9 Bq/m^3) 2 m^3/rok

Složení pevných RA odpadů podle jejich druhu je předpokládáno následující:

- oděv a obuv cca 10%
- dezaktivační materiál cca 20%
- ochranné prostředky cca 5%
- tepelná izolace cca 25%
- kovové odpady cca 10%
- vzduchotechnické filtry cca 10%
- stavební odpady cca 15%
- laboratorní odpady cca 5%

11.4.3 Popis systému nakládání s pevnými RA odpady

Systém nakládání s pevnými RA odpady se skládá ze sběrných míst odpadu, skladu pevných RA odpadů a měřicího a monitorovacího zařízení.

11.4.3.1 Sběrná místa

Sběrná místa zahrnují úplnou, nebo částečnou sestavu sběrných obalových souborů. Jsou zřizována jako trvalá, dočasná nebo speciální. Sběrná místa obsahují:

- Stojany na polyetylénové (PE) pytle s označením (drobný odpad).
- Pytel žlutý pro sběr drobného potenciálně nekontaminovaného odpadu.
- Pytel červený na potenciálně kontaminovaný odpad, vzniklý při pracích na R příkaz.
- Plechové nádoby (soudky) s označením drobný kovový odpad.
- Označení sběrného místa (nesnímatelný nápis na stěně)
- Detektory ionizujícího záření[25].

Odpad, shromážděný na sběrných místech je nízkozdvižným akumulátorovým vozíkem periodicky přepravován obsluhou na třídící místo v budově aktivních pomocných provozů, kde je s ním dále nakládáno.

11.4.3.2 Sklad pevných RA odpadů

Sklad pevných RA odpadů je umístěn v budovách aktivních pomocných provozů. Dna skladových místností jsou na podlaží -0,9 m. Na podlaží +10,80 m jsou místnosti zastřešeny monolitickým betonem a uzavřeny čtvercovými železnými hermetickými uzávěry, případně obdélníkovými betonovými panely. Místností je celkem třináct a mají různé určení.

Část těchto místností je vyčleněna jako rezervní pro skladování nestandardních těžkých RA odpadů, které nelze jednoduše zpracovat do rozměrů ohradové palety. Každý vstupní otvor je zakrytý hermetickými uzávěry (tři nad sebou). Stěny i podlahy jsou z betonu.

Místnosti, které jsou určeny pro skladování tříděných pevných RA odpadů ve standardizovaných ohradových paletách typu VP 71.04 a paletách na sudy, upravených spojením 2 ks palet typu VP 71.04, mají ocelové vestavby, jimiž je každá kobka rozdělena na 32 buněk. V každé buňce je možno skladovat nad sebou (stohovat) 20 ks palet typu VP 71.04 nebo 12 ks upravených palet na sudy, které do sebe navzájem zapadají. Úlohou vestavby je vedení ohradové palety při spouštění manipulačním úchytem a udržení stability sloupce palet. Stěny místnosti jsou železobetonové a jsou natřeny bílým epoxidovým nátěrem.

Jedna místnost je určena k organizovanému skladování použitých vzduchotechnických filtrů a má ve stropní konstrukci umístěno 12 vstupních otvorů, které jsou rozděleny na 48 buněk. V každé buňce je ocelová vestavba a každý vstupní otvor je zakrytý hermetickými uzávěry (tři nad sebou).

Nad prostorem skladu je na +10,80 m postavena ocelová hala, která zastřešuje celou plochu nad skladovacími místnostmi a je zde umístěn mostový jeřáb o nosnosti 5 t, který slouží k manipulaci s monolitickými panely, hermetickými uzávěry a pro zavážení ohradových palet s pevnými RA odpady do skladovacích místností pomocí manipulačního úchytu.

11.4.3.3 Měřicí zařízení

Měřicí zařízení slouží k vícestupňovému měření a třídění odpadů před zahájením jeho zpracování a úpravy. Jeho součástí je radiometr RP 114 (nebo ekvivalent), který se používá pro orientační měření přijatých radioaktivních odpadů, respektive k vyhodnocení

[25] Měření radiační situace od odpadu na trvalých sběrných místech, je prováděno trvale instalovanými detektory ionizujícího záření s dálkovým přenosem informace na dozornu radiační kontroly, umístěným v bezprostřední blízkosti sběrného místa. Tam, kde není instalováno stabilní měření, je měření prováděno přenosným přístroji při obchůzce pracovníků radiační ochrany provozu.

dávkového příkonu a povrchové aktivity buď jednotlivých větších kusů odpadů, nebo obalů, ve kterých je odpad uložen.

Třídící karusel je určen k měření pevných drobných odpadů, které vznikají v kontrolovaném pásmu. Odpad je měřen v PE pytlích. Výsledek měření aktivity odpadu vyjádřené v imp/kg (měřeného ve vzdálenosti 0,1 m) je indikován na displeji.

Dále je k dispozici větší počet různých typů zařízení pro měření hmotnostní aktivity nuklidů RA odpadů, umístěných ve 200 l sudech a určených k uložení na úložiště RA odpadů. Tato měření slouží jako podklad pro vystavení průvodního listu odpadu.

Zvláštní vysoce citlivé měření je určeno k měření aktivity/hmotnostní aktivity a povrchové kontaminace materiálů a odpadů z pracovišť se zdroji ionizujícího záření EDU před jejich uvedením do životního prostředí dle platné legislativy.

11.4.4 Provoz systému nakládání s pevnými RA odpady

11.4.4.1 Sběr a třídění pevných RA odpadů

Shromažďování odpadů v kontrolovaném pásmu probíhá na sběrných místech vložením odpadu do připravených obalových souborů, respektive předáním odpadu obsluze na předávacích místech.

Sběrná místa jsou zřizována jako trvalá, dočasná nebo speciální (s použitím stíněného boxu pro odpady s povrchovým dávkovým ekvivalentním příkonem (PDE) >1 mSv/h)

Trvalá sběrná místa jsou zřízena uvnitř kontrolovaného pásma a jsou používána při normálním provozu bloku. Dočasná sběrná místa jsou zřizována na základě požadavku (zpravidla za odstávky pro výměnu paliva). Potřebné vybavení sběrného místa je vydáváno na předávacích místech, ve stanovených hodinách. O vydání a o vrácení vybavení je obsluhou vedena evidence. Dočasná sběrná místa jsou označena jejich zřizovatelem, tedy zpravidla dodavatelskou firmou.

Odpady, které nelze z důvodu zvýšené aktivity, hmotnosti nebo rozměru shromažďovat na sběrných místech, lze předat pouze na předávacích místech v místnostech budovy aktivních pomocných provozů. Při vzniku většího množství odpadu nebo při vzniku atypického odpadu obsluha předávacího místa poskytne odpovídající počet obalových souborů.

Odpad, shromážděný na sběrných místech, je průběžně odvážen obsluhou na předávací místa a tříděn podle typu a změřené aktivity na následující kategorie:

- Odpad pro úřední měření před uvedením do životního prostředí
- Odpad pro vymírání
- Odpad pro úpravu u externího dodavatele (spalování, VT lisování)
- Odpad pro uložení do úložiště RA odpadů
- Odpad pro skladování

Podle aktivity je odpad tříděn do několika kategorií, přičemž změřená aktivita určuje další postup při manipulaci nebo úpravách RA odpadu.

Odpad s **PDE << 0,3 µSv/h** je určený k rozdělení třídícím karuselem. Jedná se o pytle s drobným odpadem (plast, textil, papír, drobné nečistoty), drobný kovový odpad (špony) v PE pytlích nebo rozměrný odpad (kov, dřevo, PE obaly, soudky s kalem atd.)

Odpad s aktivitou **0,3 µSv/h < PDE < 100 µSv/h** může být z obalu postupně vyjímán a 100 % tříděn na třídicím karuselu dle naměřené hodnoty imp/kg, uvedených v interní instrukci.

Odpad s aktivitou **100 µSv/h < PDE < 2000 µSv/h** je dále tříděn a zpracováván v závislosti na typu materiálu, respektive skladován ve skladovacích prostorech. Odpady mohou být připraveny k úpravě u externího dodavatele (spalování, VT lisování, přetavba) před konečným uložením.

Odpad s aktivitou **2000 µSv/h < PDE < 12000 µSv/h** je určen k dlouhodobému skladování, respektive k úpravě a uložení do úložiště RA odpadů.

Pro úřední měření před uvedením do životního prostředí je odpad předáván ve standardizovaných obalových souborech (200 l sud MEVA, ohradová paleta 0,4 m^3 nebo 0,8 m^3) s hodnotou PDE na povrchu odpadu << 0,3 µSv/h.

V EDU jsou pro vymírání skladovány odpady, u nichž je předpokládáno snížení měrné hmotnostní aktivity pod hodnotu 300 Bq/kg (orientační měrná aktivita pro uvolnění do životního prostředí) v průběhu cca 2 roků. Pro vymírání jsou vytříděny odpady s měrnou aktivitou nepřevyšující hodnoty aktivity radionuklidu ^{60}Co 400 Bq/kg a radionuklidu ^{54}Mn 600 Bq/kg.

Pro spalování je vytříděn podíl odpadů, odpovídající technické specifikaci konkrétní externí spalovny, s PDE v rozmezí 0,1 µSv/h až 2 µSv/h (dle konkrétní spalovny). Materiály, vhodnými pro spalování, jsou textil, papír, lepenka, ochranná obuv, kůže, dřevo a filtrační vložky vzduchotechnických filtrů (s výjimkou materiálů s podílem PVC). Při třídění odpadu pro spalovnu obsluha vyloučí nevhodné (nespalitelné, obtížně spalitelné, explozivní a toxické) materiály jako jsou izolace, skelná vata, kov, plechovky, azbest, sklo, zářivky, PVC, silikonový kaučuk, kabely, aktivní uhlí, filtrační vložky s kovovými součástkami nebo kabely.

Odpady, které nelze zařadit do žádné z předchozích kategorií, jsou řízeně skladovány ve skladovacích prostorech. Vytříděné a zpracované odpady jsou skladovány v obalových souborech (plastové pytle, skladovací palety nebo sudy). Odpady s PDE > 3 mSv/hod jsou skladovány odděleně z důvodu radiační ochrany personálu.

11.4.4.2 Skladování vzduchotechnických filtrů

Použité vzduchotechnické filtry z aktivních systémů primárního okruhu jsou, po vyjmutí z příslušných jednotek, umístěny nejdříve v plechových obalech a následně zaváženy do určené šachty v budově aktivních pomocných provozů, kde jsou kladeny na sebe (stohovány) pomocí jeřábu a zavážecího přípravku.

11.4.4.3 Skladování roztříděných pevných RA odpadů

Vytříděný RA odpad v polyetylénových pytlech je vložen do palety VP 71.04, která se pomocí manipulačního úchytu a jeřábu zaváží do předem určené kobky v budově aktivních pomocných provozů. Tento způsob je používán především u odpadů, u kterých je předpoklad časově limitovaného uvolnění do životního prostředí po rozpadu nuklidů s krátkým poločasem rozpadu.

Každá paleta je označená evidenčním číslem a podléhá další evidenci, přičemž se evidují následující parametry:

- Datum vzniku RA odpadu
- Původce RA odpadu
- Evidenční číslo RA odpadu
- Hmotnost RA odpadu (brutto, netto)
- PDE RA odpadu (nejvyšší naměřená hodnota na obalu).
- Druh RA odpadu.
- Typ RA odpadu.
- Skladovací prostor/pozice.
- Množství pytlů a hmotnost RA odpadu v ohradové paletě.
- Poznámka - jiné údaje o skladovaném RA odpadu.

Vytříděný radioaktivní odpad nízkotlace nalisovaný ve 200 l sudech je v počtu 2 ks vložen do jedné upravené zdvojené palety typu VP 71.04, která se pomocí manipulačního úchytu a jeřábu zaváží do předem určené skladovací místnosti v budově aktivních pomocných provozů.

11.4.4.4 Uvolnění vytříděných pevných odpadů do životního prostředí

Na třídícím karuselu vytříděný odpad v PE pytlích a vytříděný rozměrný kusový odpad, u kterého je reálný předpoklad plnění uvolňovacích úrovní do životního prostředí, je tříděn dle druhu odpadu v souladu s vyhláškou MŽP ČR č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů a Seznam nebezpečných odpadů. Po nashromáždění je tento odpad převezen z kontrolovaného pásma do objektu pomocné kotelny, kde je v těchto paletách před kontrolním měřením pro uvedení do životního prostředí dočasně uskladněn.

V objektu pomocné kotelny je prováděno úřední měření aktivity/hmotnostní aktivity odpadů, v souladu s § 57 odstavec 3, vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně, v platném znění. Zjištěné hodnoty aktivity/hmotnostní aktivity jsou použity pro vypracování oznámení na SÚJB o připravovaném uvedení odpadu do životního prostředí. Na základě souhlasného stanoviska SÚJB lze odpad, který splňuje požadovaná kritéria, předat oprávněnému odběrateli k odstranění nebo dalšímu využití.

Odpad, který nesplňuje kritéria pro uvedení do životního prostředí je vrácen zpět do budovy aktivních pomocných provozů, k dalšímu nakládání.

11.4.5 Hodnocení provozu systému nakládání s pevnými RA odpady

11.4.5.1 Roční bilance pevných odpadů

Celková hmotnost pevných RA odpadů, skladovaných v areálu EDU v r. 2014, dosáhla hodnoty 248 t (912m^3). Z tohoto množství 182 t bylo umístěno ve skladovacích prostorech v kontrolovaném pásmu v budově aktivních pomocných provozů, 66 t vytříděného odpadu bylo připraveno v prostorech mimo KP (pomocná kotelna) pro měření aktivity před uvedením do životního prostředí a pro uvedení do životního prostředí.

V roce 2014 je bilance následující. Do úložiště RA odpadů bylo uloženo 19 t pevných RA odpadů, ke spálení v externí spalovně bylo odesláno 16 t spalitelného RA odpadu, vysokotlakým lisováním bylo upraveno 6,2 t odpadu, do životního prostředí bylo uvedeno 158 t odpadu. V kontrolovaném pásmu EDU vzniklo celkem 221 t odpadu, z čehož většina tvořil odpad uvolnitelný do životního prostředí.

Dominantními RA nuklidy v pevných odpadech, které jsou sledovány před jeho uvolněním do životního prostředí, jsou ^{58}Co, ^{60}Co, ^{110}Ag, ^{54}Mn, ^{63}Ni, ^{124}Sb a ^{137}Cs.

11.4.5.2 Kontrolní činnost personálu

Kontrola veřejných sběrných míst se provádí v pracovní dny nejméně jedenkrát denně, v případě odstávky bloku i vícekrát za den. Před každým spuštěním se také kontroluje stav nízkozdvižného akumulátorového vozíku.

Kontrola technického stavu třídícího karuselu a třídícího stolu se provádí vždy před začátkem třídění. Kalibraci zařízení provádí externí dodavatel na vyžádání správce. Kontrola měřících zařízení – detektorů, osazených v třídícím karuselu a třídícím stole se provádí pomocí radioaktivních etalonů před každým tříděním externím dodavatelem. Tím je zaručena funkčnost tohoto orientačního měřidla.

Před vlastním zavážením použitých vzduchotechnických filtrů a ohradových palet s pevnými RA odpadů se uskutečňuje vizuální kontrola dopravních zařízení a místa skladování. To je nezbytné pro zajištění plynulosti a bezpečnosti manipulací.

11.4.5.3 Plnění bezpečnostních požadavků

Žádné ze zařízení pro nakládání s pevným odpadem není v seznamu vybraných zařízení podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. o radiační ochraně. Proto se na něj nevztahují ustanovení této vyhlášky.

Požadavky vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb. jsou plněny. Zařízení je schopno shromáždit a skladovat pevné radioaktivní odpady, je dobře přístupné k údržbě a k opravám a je snadno dekontaminovatelné (epoxidové nátěry). Z hlediska požadavků radiační bezpečnosti nebylo dosud zapotřebí provádět celoplošnou dekontaminaci zařízení systému sběru, třídění a skladování pevných RA odpadů.

Únikům je bráněno obalem odpadů (polyetylénové pytle, sudy, palety). Systém umožňuje pravidelná měření, stanovená monitorovacím plánem. Robustní železobetonová konstrukce skladovacích místností a krycích panelů ve skladech pevných RA odpadů brání nejen průniku záření, ale v dostatečné míře i případným účinkům výbuchu nebo požáru.

Sběr RA odpadů odpovídá obvyklému způsobu zpracování a úpravy. Třídění, evidence množství a značení sběrných nádob a obalů odpovídá požadavkům vyhlášky. Zpracování se provádí tam, kde je to účelné, tříděním a fragmentací. Spalování pevných RA odpadů se používá od roku 2008, počítá se s používáním i v budoucnu. Úprava pro trvalé uložení byla poprvé provedena jednorázově v roce 1996 externím dodavatelem, provozujícím mobilní vysokotlaký lis.

Standardní úprava pevných RA odpadů pro ukládání do úložiště byla zahájena v roce 2005 po dořešení způsobu charakterizace pevných RA odpadů pro uložení. V současné probíhá úprava pevných RA odpadů průběžně s využitím technologií drcení, nízkotlaké lisování, vysokotlaké lisování, spalování, fragmentace a dekontaminace. K dispozici je rovněž technologie pro odstraňování izolací z kabelů a přetavba kontaminovaných kovů.

Významnou složkou systému nakládání s RA odpady je aplikace uvádění části odpadů, které splňují předepsaná kritéria, do životního prostředí. Tento proces umožňuje snížit hmotnost odpadů, původně vzniklých v kontrolovaném pásmu, o více jak 60%.

11.4.5.4 Hlavní změny v systému, provedené za 30 let provozu

Systém sběru a skladování pevných RA odpadů tak, jak byl původně navržen a realizován, neumožňoval efektivní třídění pevných RA odpadů na aktivní a neaktivní a tím nesplňoval požadavek minimalizace tvorby pevného RA odpadu. V roce 1989 byl proto instalován třídící karusel a třídící box. Na těchto zařízeních se z nízkoaktivního odpadu třídí odpad neaktivní. Třídící karusel byl v roce 2009 inovován a proběhl zkušební provoz. Provoz původního třídícího boxu byl následně ukončen.

Před jednorázovou dodavatelskou úpravou a uložením v roce 1996 byly pevné RA odpady analyzovány na obsah jednotlivých radioizotopů. Jejich aktivity byly pro účel dokumentace uložení v úložišti RA odpadů statisticky zpracovány. Pro zajištění dokladování obsahu aktivit jednotlivých radioizotopů RAO nízkotlace upravovaných do sudů od r. 2001, jsou systematicky odebírány vzorky pro budoucí statistické zpracování a tvorbu dokumentace pro uložení v úložišti RA odpadů.

11.4.6 Připravenost systému nakládání s pevnými RA odpady na další provoz

Provoz systémů pro nakládání s RA odpady po dobu minulých 10 let byl bezproblémový a v současné době není důvod jej zásadním způsobem měnit. Podařilo se snížit množství skladovaných pevných RA odpadů o více jak 75%, a navíc zcela eliminovat nárůst odpadů vzniklých v kontrolovaném pásmu v důsledku realizace investičních akcí. Hmotnost těchto odpadů často dosahovala ročně 3 až 5 násobky hmotnosti odpadů, vznikajících za normálního provozu.

Zaplnění skladovacích kapacit na 23% hmotnostních a méně než 15% objemových dává velmi dobrou výchozí pozici do dalších let provozu, zejména s ohledem na skutečnost, že v roce 2014 byly upraveny všechny radioaktivní koncentráty a sorbenty. Současně probíhá se zvýšenou intenzitou kampaň na minimalizaci tvorby pevných RAO.

Tab. 46. Průměrná roční produkce pevných RAO a jejich očekávané množství do roku 2027

Typ RAO	Skladováno k 4/2015 [t]	Stávající prům. roční produkce [t]	Predikce produkce do roku 2027			
			Produkce za 13 let [t]	Měrná hmotnost [700 kg/m³]	Počet sudů [ks]	Celkem k uložení (současná + nová produkce) [t]
Pevné RAO	200	60	780	700	5 600	980

Celkový stav technologie systému je v takovém stavu, že v souladu se současnými požadavky legislativy je zajištěn jeho bezproblémový provoz na dalších min. 10 let.

12 Radiační ochrana

Základním bezpečnostním požadavkem při provozu EDU je ochrana personálu a obyvatelstva v okolí EDU před vnějším i vnitřním ozářením a zajištění ochrany okolního prostředí od kontaminace radioaktivními látkami v mezích dle platných legislativních předpisů a norem, a to jak pro případ normálního provozu, tak pro havarijní situace. Radiační ochrana je dle Zákona č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (Atomového zákona) definována jako systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření osob a ochraně životního prostředí.

Pro účely Atomového zákona se rozumí činností, související s využíváním jaderné energie mimo jiné i umísťování, výstavba, uvádění do provozu, provoz, rekonstrukce a vyřazování z provozu jaderných zařízení a projektování jaderných zařízení.

Pro účely tohoto zákona se dále rozumí **činností vedoucí k ozáření** radiační činnost nebo činnost v souvislosti s výkonem práce. **Radiační činnost** je činnost s umělými zdroji ionizujícího záření, při nichž se může zvýšit ozáření fyzických osob, kromě činností v případě radiační mimořádné situace nebo činnost, při které jsou přírodní radionuklidy využívány pro své radioaktivní, štěpné nebo množivé charakteristiky. **Činnost v souvislosti s výkonem práce** je činnost, která je spojena se zvýšenou přítomností přírodních radionuklidů nebo se zvýšeným vlivem kosmického záření a vede nebo by mohla vést k významnému zvýšení ozáření fyzických osob. Ozářením se rozumí vystavení osob a životního prostředí ionizujícímu záření.

Radiační ochrana jaderné elektrárny je založena na nastavení takových principů, procesů, limitních hodnot a chování lidí, aby riziko z ozáření personálu i okolního obyvatelstva bylo minimalizováno. Pravidla radiační ochrany jsou platná ve všech úrovních ochrany hloubky, do přičemž nastavené limity dávek odpovídají vyhlášce SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně.

Pro vykonávání činností, souvisejících s využíváním jaderné energie, při činnostech vedoucích k ozáření a při zásazích k omezení ozáření v důsledku radiačních nehod, je nutné dodržovat tyto základní principy radiační ochrany:

- Provozovatel jaderné elektrárny musí dbát na to, aby jeho jednání bylo odůvodněno přínosem, který vyváží rizika, která při těchto činnostech vznikají nebo mohou vzniknout - **princip odůvodnění činnosti**.
- Provozovatel jaderné elektrárny je povinen omezovat ozáření fyzických osob tak, aby celkové ozáření způsobené možnou kombinací ozáření z činností, vedoucích k ozáření nepřesáhlo v součtu limity ozáření - **princip limitování dávek**.
- Provozovatel jaderné elektrárny je povinen dodržovat takovou úroveň radiační ochrany, aby riziko ohrožení života, zdraví osob a životního prostředí bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při uvážení hospodářských a společenských hledisek - princip optimalizace ochrany před zářením nebo zkráceně **princip ALARA**

Princip odůvodnění činnosti

Přes všechno úsilí bezpečnost nikdy nelze vnímat jako absolutní, ve světě obvyklou záležitost. Každá lidská činnost i samotná existence je spojena s množstvím rizik, která mohou jedince nebo společnost ohrozit na zdraví či životě. Činnosti, spojené s využíváním jaderné energie, nejsou výjimkou. Každý způsob získávání energie (ať už elektrické nebo jiné) je spojen s určitými riziky pro jednotlivce a společnost, které při nedostatečném ošetření mohou vést k dopadům na zdraví či životy obyvatelstva. Cílem řízení a minimalizace rizika používání jaderné energie (a s ní spojeného rizika používání radioaktivních látek) je tedy nastavení takového způsobu zacházení s radioaktivními látkami, aby riziko vzniklé z jejich používání bylo pokud možno eliminováno. V případě jaderné energetiky tedy musí být přínos zajištění energetické potřeby společnosti vyšší, než potenciální riziko z ozáření.

Výsledkem této rozvahy je rozhodnutí společnosti nejčastěji formou rozhodnutí státu ve státních strategických dokumentech o používání jaderné energie jako bezpečného, spolehlivého a nákladově příznivého zdroje. Možné a existující rizika, spojené s provozováním jaderných elektráren, jsou tedy v příslušné společnosti, státu nebo společenství států vnímána jako obecně nižší, než skutečný přínos zajištění spolehlivých dodávek elektrické energie, která je pro existenci rozvinuté společnosti nezbytná.

Všechny stávající i nově stavěné jaderné elektrárny pak musí reflektovat změny, které se spolu s technickým a společenským vývojem společnosti, států a společenství států odehrávají. Souvisí to například se stále se zpřísňujícími požadavky na bezpečnostní opatření (včetně radiační ochrany) provozovaných i nově stavěných jaderných elektráren, které vychází z nově získávaných zkušeností v tomto oboru i v oborech souvisejících.

Princip limitování dávek

Princip limitování dávek stanoví povinnost pro provozovatele jaderné elektrárny zajistit nepřekročení stanovených limitů dle vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně.

Obecné limity jsou tyto:

- Pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 1 mSv za kalendářní rok nebo za podmínek stanovených v povolení k provozu pracoviště III. nebo IV. kategorie (jaderná elektrárna) výjimečně hodnota 5 mSv za dobu pěti za sebou jdoucích kalendářních roků.
- Pro ekvivalentní dávku v oční čočce hodnota 15 mSv za kalendářní rok.
- Pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm^2 kůže hodnota 50 mSv za kalendářní rok.

Limity pro radiační pracovníky se vztahují na profesní ozáření, tj. na ozáření, kterému jsou vystaveni v přímém vztahu k vykonávané práci radiační pracovníci. Limity pro radiační pracovníky se vztahují na součet dávek ze všech cest ozáření a při všech pracovních činnostech, které radiační pracovník vykonává. Limity pro radiační pracovníky jsou:

- Pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 100 mSv za dobu pěti za sebou jdoucích kalendářních roků.
- Pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 50 mSv za kalendářní rok.
- Pro ekvivalentní dávku v oční čočce hodnota 150 mSv za kalendářní rok.
- Pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm^2 kůže hodnota 500 mSv za kalendářní rok.
- Pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky 500 mSv za kalendářní rok.

Dále jsou vyhláškou SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně stanoveny limity pro učně a studenty (tj. mezi 16. a 18. rokem) a jsou stanoveny i zvláštní případy (těhotné ženy atd.).

Havarijní ozáření při zásahu osob se usměrňuje tak, aby bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout s uvážením hospodářských a společenských hledisek (princip ALARA). Zásah se organizuje tak, aby nebyly překročeny limity ozáření, nebo alespoň tak, aby nebyly překročeny meze stanovené v Atomovém zákoně 18/1997 Sb. Osoby provádějící zásah musí být o nebezpečí, spojeném s prováděním zásahu, prokazatelně informovány a musí se jej zúčastnit dobrovolně.

Princip ALARA

Princip ALARA (zkratka z anglického „as low as reasonably achievable“ - v překladu „tak nízké jak je rozumně dosažitelné“), aplikovaný pro účely radiační ochrany v jaderné elektrárně, pak vyjadřuje princip optimalizace nákladů na prostředky, potřebné ke snížení ozáření personálu jaderné elektrárny a životního prostředí v okolí jaderné elektrárny. Hodnoty dávek ozáření personálu jaderné elektrárny a obyvatel v okolí jaderné elektrárny musí být dle principu ALARA udržovány tak nízko, jak je rozumně dosažitelné.

K prokazování rozumně dosažitelné úrovně radiační ochrany jsou stanoveny obecné technické a organizační požadavky, uvedené ve vyhlášce SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně:

- **Před zahájením činnosti**, vedoucí k ozáření, je třeba posouzení a porovnání variant řešení radiační ochrany, které při zamýšlené činnosti přicházejí v úvahu, a nákladů na příslušná ochranná opatření, kolektivních dávek a dávek v příslušných kritických skupinách obyvatel
- **Při vykonávání činnosti**, vedoucí k ozáření, je třeba provádět pravidelný rozbor obdržených dávek ve vztahu k prováděným úkonům, uvážení možných dalších opatření k zajištění radiační ochrany a porovnání s obdobnými již provozovanými a přitom společensky přijatelnými činnostmi.
- **Před zahájením zásahu** k odvrácení nebo snížení ozáření je třeba provést posouzení možných variant a volba takové, která svým způsobem provedení, rozsahem a dobou trvání přinese co největší čistý přínos.
- **Při uskutečňování zásahu** je třeba provádět rozbor obdržených dávek ve vztahu k prováděným opatřením a uvažovat změny zvolených opatření a postupů.

Rozumně dosažitelná úroveň radiační ochrany se považuje za dostatečně prokázanou v těch případech, kdy z dané radiační činnosti ani za předvídatelných odchylek od běžného provozu **roční efektivní dávka** u žádného z radiačních pracovníků nepřekročí 1 mSv a **roční efektivní dávka** u žádné jiné osoby nepřekročí 50 µSv. Pro pracoviště IV. Kategorie pak **kolektivní efektivní dávka** nepřekročí 1 Sv.

12.1 Optimalizace radiační ochrany

12.1.1 Koncepce radiační ochrany

Radiační ochrana je systémem managementu provozovatele jaderného zařízení, který musí zajistit ochranu zdraví a životů lidí v jakékoli úrovni ochrany do hloubky. V úrovních DiD 1 a DiD 2 lze očekávat obdobnou normální radiační situaci jak uvnitř kontrolovaného pásma a samotného elektrárenského bloku, tak i v okolí elektrárny. V případě úrovně DiD 3 lze předpokládat výrazné zvýšení aktivity v hermetickém prostoru, avšak jelikož nedošlo k narušení základních bezpečnostních funkcí, aktivita uvnitř kontejnmentu pochází pouze z chladiva primárního okruhu a dopad na okolí (mimo kontejnment) je zanedbatelný. V případě úrovně DiD 4 došlo k narušení integrity jaderného paliva a aktivita, která je uvolněna uvnitř kontejnmentu, je mnohonásobně vyšší včetně jiného izotopického složení obsahu média v kontejnmentu. Ochranu okolí proti radiaci a ozáření pak tvoří pouze čtvrtá bariéra a při jejím narušení dochází k přechodu do úrovně DiD 5. Z toho vyplývá, že pro jednotlivé úrovně DiD musí existovat různé systémy měření radiace, které se liší jak rozsahem měřené veličiny. Rovněž musí existovat různé postupy měření a vyhodnocování radiační situace.

12.1.1.1 Radiační ochrana v úrovni DiD 1 a DiD 2

Pro DiD 1 a DiD 2 jsou používány velmi citlivé přístroje, které musí umět měřit radiaci na úrovni přírodního pozadí. Umístění těchto přístrojů je jednak přímo v technologii pro měření prostředí, jednak na trasách plynných a vodních výpustí do přírodního prostředí a rovněž v okolí elektrárny, kde je třeba sledovat odchylky od přirozené radiace a vyhodnocovat, zda dopad provozu jaderné elektrárny nemá negativní vliv na okolí.

Pro úrovně DiD 1 a DiD 2 je základním principem zajištění radiační ochrany její optimalizace. Každý, kdo provádí činnosti vedoucí k ozáření, je povinen dodržovat výše uvedené principy limitování dávek a ALARA. Činnosti, které mohou vést k ozáření, jsou prováděny v prostorách kontrolovaných a sledovaných pásem EDU a vykonávají je radiační pracovníci kategorie A. Pracovníky kategorie A jsou pracovníci, kteří by na základě analýzy pracovních úkonů mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávku vyšší než tři desetiny limitu ozáření stanovené pro jednotlivé orgány ve vyhlášce SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně.

Při všech pracovních činnostech v prostředí s ionizujícím zářením v kontrolovaném a sledovaném pásmu EDU, při nichž může docházet k expozici radiačních pracovníků, jsou aplikovány principy optimalizace radiační ochrany. To znamená, že hodnoty dávek ozáření radiačních pracovníků jsou plánovány, průběžně kontrolovány a následně vyhodnocovány. Stejné principy jsou rovněž uplatňovány pro oblast zpracování a likvidace radioaktivních odpadů a pro oblast řízení výpustí radioaktivních látek do ovzduší a vodotečí.

EDU má v řídících dokumentech a předpisech definovány zásady pro práce ve zvýšeném radiačním riziku v souladu s aplikací zásad ALARA. Práce jsou prováděny pouze na zvláštní příkaz (R-příkaz). Pro práce v podmínkách velmi zvýšeného radiačního rizika (dle stanovených kritérií) je vypracován speciální postup s názvem Program zajištění radiační ochrany. Pracovníci, kteří práci ve zvýšeném radiačním riziku provádějí, jsou seznámeni s aktuální situací (místy s největším dávkovým příkonem) prostřednictvím fotodokumentace.

12.1.1.2 Radiační ochrana v úrovni DiD 3, DiD 4 a DiD 5

Pro úrovně DiD 3 a DiD 4 je třeba pro sledování radiační situace používat vysokorozsahové přístroje, které jsou umístěny uvnitř kontejnmentu a v dalších místech elektrárny, kde je možno přítomnost zvýšené radiace předpokládat. Pro úroveň DiD 3 a DiD 4 se předpokládá, že podstatná část radioaktivních látek zůstává uvnitř čtvrté bariéry (kontejnmentu) a měření zvýšených úrovní radiace jednak poskytuje důležité informace o fyzikálních dějích, které v průběhu havárie nastávají, jednak poskytuje informace k ochraně zasahujícího personálu uvnitř elektrárny.

Dále jsou pro sledování radiační situace této úrovně potřebné systémy sledování uvnitř areálu elektrárny (avšak mimo vlastní stavební objekty) a mimo areál elektrárny v jejím blízkém okolí. Tyto systémy by pak umožňovaly vyhodnocovat úniky radioaktivních látek i v případě těžkých havárií, zajistit radiační ochranu vlastním zásahovým skupinám (například předepsáním ochranných pomůcek při zásahu nebo určením tras pohybu) a dále by umožnily vyhodnocovat situaci z pohledu vnějšího havarijního plánu a poskytováním informací o radiační situaci v okolí elektrárny zefektivnit provádění adekvátních zásahů a opatření k ochraně obyvatelstva.

V těchto úrovních DiD by byly pro minimalizaci následků rovněž použity princip ALARA a princip limitování dávek. Hodnoty pro maximální možné radiační zatížení personálu i obyvatelstva a limitní a směrné hodnoty pro přijímání opatření na ochranu obyvatelstva jsou uvedeny vyhlášce SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně.

12.1.2 Koncepce projektové řešení zařízení z pohledu radiační ochrany

12.1.2.1 Umístění a projekt technologického zařízení a dalších prostředků

Objekty, ve kterých se nacházejí technologická zařízení obsahující zdroje ionizujícího záření (hlavní výrobní blok, budova aktivních pomocných provozů), jsou navrženy tak, aby byla zajištěna dostatečná ochrana personálu při běžných pracovních operacích. Při návrhu strojně - technologického a stavebního řešení bylo dbáno na takovou přístupnost

zařízení, aby byla umožněna snadná a bezpečná obsluha i potřebné revize, údržba a opravy.

Zásady projekčního řešení účinné radiační ochrany pro úrovně DiD 1 a DiD 2 lze shrnout do následujících obecných zásad:

- Potrubí obsahující radioaktivní média jsou vedena zvláštními - „aktivními“ potrubními chodbami.
- Velké zdroje záření (nádrže, filtry) se umisťují pokud možno v samostatných stíněných kobkách, nebo pokud jsou umístěny v jedné místnosti spolu s dalším zřízením, jsou odděleny stínícími přepážkami.
- Jednotlivé technologické uzly jsou oddělovány tak, aby při údržbářských pracích na jednom systému nebyli pracovníci ozařováni ze zdrojů okolních systémů.
- Zařízení je umisťováno s ohledem na dobrou přístupnost těch částí, které vyžadují pravidelnou údržbu tak, aby se zkrátila nezbytně nutná doba potřebná pro tyto práce a tím i doba pobytu pracovníků v prostoru s vyšší úrovní dávkového příkonu.
- Ovládání armatur na „aktivních“ potrubních trasách je řešeno převážně dálkově s ohledem na jejich funkci při různých provozních režimech.
- Ovládací prvky zařízení se přednostně umisťují v obsluhovaných prostorech, kde je nejnižší úroveň příkonu dávkového ekvivalentu
- Do poloobsluhovaných prostor jsou umístěna zařízení, nevyžadující stálou nebo dlouhodobou přítomnost obsluhy

Zařízení, která představují takové zdroje ionizujícího záření, u nichž by mohlo dojít k nepřípustnému ozáření obsluhy, jsou umístěny v neobsluhovaných prostorech. Přístup do těchto prostorů je v normálním režimu provozu nepřípustný, v případě nutnosti vstupu podléhá zvláštnímu režimu pro zajištění radiační ochrany.

Při úrovních DiD 3 a DiD 4 se nepředpokládají běžné činnosti provozního personálu a radiační ochrana zasahujícího personálu a okolí elektrárny je řešena dalšími projektovými prostředky:

- Umístění primárního okruhu uvnitř čtvrté bariéry proti úniku RA látek (kontejnmentu).
- Vybavení média sprchového systému přídavným dávkováním chemikálií k lepšímu zachycení RA látek z plynné do vodní fáze média.
- Zodolnění obslužných prostor pro řízení bloku (blokových a nouzových dozoren) proti radiaci včetně vybavení izolačním a filtroventilačním zařízením (bloková dozorna).
- Vybavení havarijního řídicího střediska filtroventilačním zařízením a prostředky osobní ochrany proti radiaci.

Pro podmínky DiD 5 je předpokládána činnost havarijního řídicího střediska s činností zásahových jednotek podle aktuální radiační situace. Hlavními projektovými prostředky pak jsou:

- Havarijní řídicí středisko v areálu elektrárny, vybavené protiradiační ochranou.
- Kryty pro personál elektrárny, vybavené protiradiační ochranou.
- Záložní havarijní řídicí středisko mimo areál elektrárny.

12.1.2.2 Konstrukce technologického zařízení

V úrovních DiD 1 se pohybuje personál elektrárny a dodavatelů uvnitř jejích prostor jak během provozu na výkonu tak během odstávek. Konstrukční řešení a materiál jednotlivých zařízení tak má významný vliv na čerpání dávek.

Materiál použitý k výrobě komponent primárního okruhu i dalších navazujících zařízení, pracujících s chladivem primárního okruhu, je vybrán dodavatelem s ohledem na parametry, zajišťující co nejnižší dávky ozáření obsluhy jaderné elektrárny. Při volbě materiálu je věnována zvláštní pozornost obsahu kobaltu v ocelích, přicházejících do styku s primárním chladivem. Cílem je omezit tvorbu radionuklidu ^{60}Co, který je velmi

silným zdrojem gama záření. Byl rovněž proveden výběr materiálu trubek do parogenerátorů tak, aby obsahovaly minimální množství kobaltu. Výběrem materiálu pro konstrukční části primárního okruhu bloků EDU bylo mimo jiné dosaženo, že dávky ozáření personálu na elektrárně jsou jedny z nejnižších ve světovém měřítku. Toto je jeden z příkladů použití principu ALARA při konstrukci zařízení.

Správnou volbou konstrukčních materiálů je zároveň omezována tvorba korozních produktů v chladivu primárního okruhu, které jsou významným zdrojem radioaktivního záření. Tvorba korozních produktů je rovněž omezována povrchovou úpravou materiálů (leštění, žíhání), která také prodlužuje životnost zařízení a umožňuje efektivní dekontaminací. Méně ušlechtilé materiály se chrání odolným nátěrovým systémem a používají se pouze pro pomocné konstrukce a zařízení nepřicházející do styku s primárním chladivem.

K omezení vzniku korozních produktů přispívá také udržování optimálního chemického režimu chladiva primárního okruhu. Pro přípravu roztoků, používaných v primární části se používá velmi kvalitní demineralizovaná voda. Tím se snižuje množství nečistot, které by mohly být v primárním okruhu aktivovány.

Zařízení primární části bloků EDU, obsahující radioaktivní média jsou navržena tak, aby nároky na údržbu byly co nejmenší, a nedocházelo tak ke zbytečnému ozáření pracovníků. Ucpávky a těsnění všech částí systémů, pracujících s radioaktivními kapalinami, jsou voleny s ohledem na parametry a chemické složení média tak, aby se zamezilo nežádoucím únikům do pracovního prostředí.

Technologická zařízení, u kterých nelze v případě poruchy vyloučit riziko úniku radioaktivní kapaliny, se umisťují v kobkách a místnostech vybavených tak, aby bylo možno tyto úniky zachytit a přivést do systému pro zpracování radioaktivních odpadů. Tyto místnosti jsou napojeny na systém speciální kanalizace. Podlahy a stěny do výše možného zalití jsou opatřeny opláštěním z nerezavějící oceli, prahy jsou zvýšené, případně je vstup do kobek možný pouze z vyššího podlaží.

Dávky ozáření personálu jsou dále omezovány používáním dálkového ovládání zařízení a omezováním doby pobytu v prostorech se zvýšenými dávkovými příkony, které pocházejí od silných zdrojů ionizujícího záření. Vhodným konstrukčním řešením zařízení, která vyžadují periodickou obsluhu, údržbu, výměnu součástí apod. je zkracována doba, potřebná k provedení dané činnosti. Týká se to mj. zařízení sloužících pro výměnu paliva a výměnu filtračních náplní.

Činnosti na zařízeních primárního okruhu usnadňuje také možnost odstavení příslušného technologického uzlu, protože mnohá důležitá zařízení jsou provedena ve dvou nebo třech samostatných technologických linkách. Po dobu odstavení přebírá funkci druhá, případně třetí linka.

12.1.3 Aspekty radiační ochrany při normálním provozu

Při provozování jaderné elektrárny musí být zajištěno nepřekročení limitů ozáření, které jsou stanoveny vyhláškou SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně a individuální i kolektivní efektivní dávky musí být udržovány v souladu s principem ALARA, na co nejnižší rozumně dosažitelné úrovni. Je prováděna optimalizace činností z pohledu radiační ochrany. V tomto smyslu jsou zpracovány řídící dokumenty EDU, provozní předpisy, provozní instrukce, technologické postupy a další provozně technická dokumentace, související s prováděním činností s rizikem ionizujícího záření. Práce, které vykonává provozní i odstávkový personál provozovatele i dodavatelů v prostorách a na zařízeních v kontrolovaném pásmu bloků EDU, je řízen systémem radiačních příkazů (R příkazů) tak, aby bylo radiační zatížení všech pracovníků na co možná nejnižší rozumně dosažitelné úrovni. Úroveň radiační ochrany je trvale sledována a vyhodnocována a identifikují se rizikové činnosti z pohledu radiační ochrany. Rovněž v tomto smyslu jsou sestaveny výcvikové a zkušební programy pro školení pracovníků provozovatele i všech dodavatelů.

Zařízení primárního okruhu, na kterém se provádí údržba, se dle možností před započetím prací propláchne, zdrenážuje, dekontaminuje, dále se provede dozimetrická kontrola a dle naměřených hodnot se případně koriguje pracovní postup. Provádění činností v prostředí rizika ionizujícího záření vyžaduje ve většině případů dvě důležité zásady:

- Co možná nejkratší doba pobytu v prostoru se zářením.
- Co možná největší vzdálenost od zdroje záření.

Vhodné pracovní podmínky z hlediska radiační ochrany se dále zajišťují např. odstraněním zbytečných zdrojů záření v pracovním prostoru, dekontaminací zařízení, použitím vhodného stínění, odsáváním vznikajících radioaktivních částic z pracovního prostoru, instalací sanitárních uzlů a používáním vhodných pracovních pomůcek a osobních ochranných prostředků.

Na základě zkušeností z provádění činností, s využitím tzv. „dobrých praktik" od jiných provozovatelů a dalších relevantních informací jsou všechny pracovní postupy průběžně doplňovány a inovovány.

12.1.3.1 Aplikace principu ALARA na radiační zátěž personálu

Optimalizace čerpání dávek personálu je zabezpečována řízeným cyklem se zpětnou vazbou:

Plánování činností v prostředí s rizikem

- Provádění prací v prostředí s rizikem ionizujícího záření na R-příkaz.
- Stanovení optimalizovaných provozních úrovní radiační ochrany a referenčních úrovní v monitorovacích programech.

Monitorování

- Nepřetržitá kontrola radiační situace v prostorách kontrolovaného pásma a areálu střeženého prostoru EDU (STP EDU1-4) centrálním informačním systémem radiační kontroly.
- Periodické pochůzky a monitorování radiační situace pracovníky provozu radiační ochrany ve všech prostorách EDU, kde je pravděpodobnost výskytu ionizujícího záření.
- Monitorování osobních dávek všech pracovníků v kontrolovaném pásmu základními a operativními prostředky dozimetrické kontroly.

Hodnocení a optimalizace

- Optimalizační proces aplikovaný na práce ve velmi zvýšeném radiačním riziku, práce nestandardní, práce vykonávané poprvé - program zajištění radiační ochrany.
- Svolání komise ALARA a provedením práce dle závěrů komise s využitím nástrojů ALARA.
- Sledování hodnot čerpání individuální a kolektivní efektivní dávky a šetření příčin překročení stanovených referenčních úrovní dle programu monitorování.
- Sledování a vyhodnocování dlouhodobých trendů všech významných indikátorů úrovně radiační ochrany.

Významným prostředkem optimalizace je také členění místností v kontrolovaném pásmu EDU z hlediska úrovně radiační situace do kategorií. Jednotlivé kategorie mají stanovena kritéria pro zařazení a označení vstupních dveří. Pro zamezení neoprávněného nebo náhodného vstupu osob do stanovených prostorů (Kategorie **II.** a kategorie **III.**) je zajištěno uzamčení těchto prostor.

12.1.3.2 Aplikace principu ALARA při plánování prací

Aplikace principu ALARA při posuzování prací na R-příkaz vychází ze změřené úrovně radiační situace a charakteru činností prováděných na R-příkaz. Při posuzování

závažnosti a stanovení opatření k zajištění radiační ochrany je uplatňován odstupňovaný přístup. Musí být zohledněna složitost prováděné práce dle jednotlivých typů zařízení, způsob nakládání se zdroji ionizujícího záření a úroveň aktuální radiační situace v místě práce.

Pro práce v podmínkách velmi zvýšeného radiačního rizika jsou stanovena další návazná kritéria, při jejichž naplnění je k R-příkazu vypracována příloha s názvem Program zajištění radiační ochrany. Kritéria jsou stanovena pro příkon dávkového ekvivalentu, povrchovou kontaminaci prostorů a zařízení, předpokládané individuální čerpané dávky a speciální druhy prací jako je např. broušení, dekontaminační práce velkého rozsahu, práce v nádržích a revizních šachtách, práce v prašném prostředí atd.

Úroveň zajištění radiační ochrany je při potřebě provádění prací v prostředí nebo podmínkách zvýšeného, popř. velmi zvýšeného radiačního rizika zajišťována dle stanovených kritérií na čtyřech úrovních:

- Provedení práce bez otevření R-příkazu, po změření radiační situace a zhodnocení rizik spojených s provedením práce.
- Provedení práce na otevřený R-příkaz.
- Provedení práce na otevřený R-příkaz s programem zajištění radiační ochrany
- Provedení práce dle závěrů komise ALARA (závěry Komise ALARA zapracovány do programu zajištění radiační ochrany).

12.1.3.3 Optimalizace a provozní úroveň radiační ochrany

Výsledkem optimalizace na základě dlouhodobých provozních zkušeností získaných bezpečným a spolehlivým provozem EDU jsou provozní úrovně radiační ochrany. Jsou stanoveny k operativnímu řízení a kontrole úrovně radiační ochrany v elektrárně. Slouží k zajištění, udržení a zvyšování úrovně radiační ochrany.

Pro optimalizaci provozní úrovně radiační ochrany je klíčovým prvkem monitorování aktivity, které musí být v souladu se schváleným programem monitorování. Požadavek na monitorování plyne ze Zákona č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon). Podrobné požadavky kladené na Program monitorování jsou uvedeny ve vyhlášce SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně. Monitorování je měření a hodnocení ozáření pracovníků se zdroji, dalších osob a také znečištění pracoviště a jeho okolí ionizujícím zářením nebo radionuklidy. Při monitorování jsou rozlišovány následující pojmy:

- **Referenční úroveň** - hodnota, popř. kritérium, rozhodná pro určité předem stanovené postupy nebo opatření.
- **Záznamová úroveň** - referenční úroveň, při jejímž překročení je údaj podrobněji zaznamenáván a evidován, odděluje hodnoty zasluhující pozornost od hodnot bezvýznamných.
- **Vyšetřovací úroveň** - referenční úroveň, jejíž překročení je podnětem k následnému šetření o příčinách a důsledcích zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany.
- **Zásahová úroveň** - referenční úroveň, jejíž překročení je podnětem k zahájení určité činnosti nebo zavedení opatření ke změně zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany.

Tyto úrovně byly stanoveny nad rámec limitů a referenčních úrovní dle programu monitorování, podle kterých pracovníci útvaru radiační ochrany hodnotí situace a navrhují, resp. nařizují operativní opatření k zajištění radiační ochrany. Provozní úrovně jsou stanoveny zejména pro oblasti monitorování pracovního prostředí (příkon dávkového ekvivalentu v pracovním prostředí, stíratelná povrchová kontaminace pracovního prostředí a zařízení, aktivity média při jeho úniku ze zařízení primárního okruhu do pracovního prostředí atd.), osob (radiační kontrola na vstupu do STP EDU1-4) a kapalné výpustě do vodotečí (aktivita tritia).

Opatření k zajištění požadované úrovně radiační ochrany jsou tak optimalizována a prováděna mnohem dříve než dojde k překročení zásahových úrovní dle programů monitorování s požadovaným zásahem.

12.1.3.4 Měření radiační zátěže osob, vstupujících do kontrolovaného pásma

Vyhodnocením osobního filmového dozimetru nebo elektronického osobního dozimetru, neutronového dozimetru, spolu s přičtením příspěvků naměřených hodnot dávek ozáření z vnitřní kontaminace jsou získány hodnoty tzv. individuální efektivní dávky (IED) jednotlivých pracovníků. Součet efektivních dávek všech pracovníků v STP EDU1-4 je pak vyhodnocen jako kolektivní efektivní dávka (KED).

Jako základní individuální dozimetr je od počátku roku 2010 v ČEZ-EDU používán elektronický osobní dozimetr, který je standardně vyhodnocován vždy po uplynutí pracovní doby, resp. pobytu v kontrolovaném pásmu. Systém elektronické osobní dozimetrie je používán pro operativní i pro každodenní hodnocení aktuálního čerpání dávek personálu i pro hodnocení kolektivních dávek personálu za hodnocené období (standardně týden, měsíc, rok). Čerpání dávek radiačních pracovníků v kontrolovaném pásmu v EDU je celkově na velmi nízké úrovni.

12.2 Zdroje ionizujícího záření

V objektech EDU se vyskytují následující zdroje ionizujícího záření:

- Zdroje, které jsou součástí technologií a médií
- Zdroje, sloužící ke kontrolám a měřením

V dalším textu této kapitoly se budeme zabývat pouze zdroji ionizujícího záření, které jsou součástí technologie jaderné elektrárny Dukovany. Zdroje, které slouží ke kontrolám a měřením, podléhají evidenci a pro jejich použití jsou zpracovány zvláštní postupy, které reflektují specifika každého z nich.

12.2.1 Zdroje záření v technologii

12.2.1.1 Aktivní zóna reaktoru

Hlavním zdrojem ionizujícího záření během provozu jaderné elektrárny je jaderný reaktor s aktivní zónou. Aktivní zóna je zdrojem rychlých i tepelných neutronů a zdrojem záření gama. Celková aktivita chladiva primárního okruhu, které prošlo aktivní zónou reaktoru, je dána především aktivitou ^{16}N a ^{17}N, aktivitou štěpných produktů a aktivitou radionuklidu tritia ^{3}H.

V chladivu primárního okruhu dochází při průchodu aktivní zónou reaktoru k aktivaci nuklidů ^{16}O a ^{17}O na nuklidy ^{16}N a ^{17}N, které se následně rozpadají s krátkým poločasem rozpadu. V důsledku krátkého poločasu rozpadu ^{16}N a ^{17}N se při najetí reaktoru na výkon prakticky ihned ustaví rovnovážná aktivita těchto nuklidů, která je určena výkonem reaktoru a nezávisí na době provozu. Tyto nuklidy jsou při rozpadu zdrojem vysokoenergetického gama záření, které je spolu s ionizujícím zářením z aktivní zóny hlavním zdrojem radiace v boxu parogenerátorů při provozu reaktoru na výkonu (DiD 1). Při odstavení reaktoru tato aktivita vymizí v řádu desítek sekund a pro DiD 2 a vyšší nemá praktický význam.

Štěpné produkty z jaderného paliva mohou pronikat do chladiva primárního okruhu těmito způsoby:

- Aktivací UO_2, který je přítomen (již z výroby) jako mikroskopická povrchová nečistota na vnější části palivových proutků (DiD 1 až DiD 3)
- Únikem plynných a těkavých štěpných produktů, které jsou uvnitř palivového proutku, mikrotrhlinami v pokrytí paliva, vzniklými vlivem záření (DiD 1 až DiD 3).

- Únikem části nebo všech štěpných produktů do primárního okruhu v případě značného poškození pokrytí jaderného paliva (DiD 4). Pozn. z důvodu konzervativnosti výpočtů radiačních následků se i pro DiD 3 používá předpoklad významného poškození pokrytí, i když podle údajů dodavatele paliva by k němu nemělo dojít.

Během provozu se mohou vyskytnout různé defekty v pokrytí palivových elementů, provázené zvýšeným únikem štěpných produktů do vody primárního okruhu. Za normálního provozu (DiD 1) nesmí být překročen provozní limit poškození palivových proutků, který představuje 0,2 % proutků s defekty typu plynové netěsnosti a 0,02 % proutků s přímým kontaktem jaderného paliva s chladivem. Během abnormálního provozu (DiD 2) nesmí být překročen provozní limit poškození palivových proutků, který představuje 1 % proutků s defekty typu plynové netěsnosti a 0,1 % proutků s přímým kontaktem jaderného paliva s chladivem. Vzhledem k tomu, že takto definované poškození nelze za provozu reaktoru nijak přímo sledovat, je těsnost paliva určena sumární objemovou aktivitou směsi izotopů jódu (^{131}I, ^{132}I, ^{133}I, ^{134}I, ^{135}I) v chladivu a musí být menší než 3,7 x 10^{10} Bq/m^3 (což odpovídá 1 Curie(Ci)/m^3 při vyjádření ve starších jednotkách aktivity)

Radionuklid tritia ^3H vzniká několika způsoby, jednak reakcemi neutronů s jádry bóru (součást chladiva jako H_3BO_3), tzv. trojným štěpením uranu a aktivací lithia v palivu či chladivu. V rovnovážném stavu se z jaderné elektrárny do životního prostředí vypouští v určitém časovém úseku (při zanedbání přirozeného rozpadu) množství tritia rovné jeho produkci. Tritium se v okruzích JE s výjimkou počátečních kampaní nehromadí.

12.2.1.2 Chladivo primárního okruhu

Produkty štěpení pronikají do chladiva primárního okruhu netěsnostmi pokrytí palivových proutků. Jejich množství závisí na štěpných průřezech ^{235}U, ^{238}U, ^{239}Pu, ^{241}Pu, hustotě neutronových toků, obohacení paliva, stupni vyhoření a stupni poškození palivového pokrytí. Největší podíl na aktivitě produktů štěpení mají izotopy kryptonu, xenonu, jódu, cesia, barya a stroncia.

Kromě výše zmíněných radionuklidů je aktivita chladiva primárního okruhu tvořena ještě korozními a aktivačními produkty, které vznikají:

- Aktivací konstrukčních materiálů aktivní zóny a jejich emisí do chladiva.
- Aktivací příměsí (nečistot) chladiva při průchodu aktivní zónou.
- Aktivací korozních produktů, usazených v aktivní zóně jaderného reaktoru.

Korozní produkty způsobují nežádoucí nárůst aktivity chladiva primárního okruhu a dalších technologických médií, a proto je věnována zvláštní pozornost volbě konstrukčních materiálů. I při použití nejkvalitnějších ocelí však k určité tvorbě korozních produktů dochází. Nejvýznamnějšími radionuklidy jsou izotopy zirkonia, niobu, kobaltu, železa, manganu a chromu. Podle provozních zkušeností jsou dominujícími radionuklidy ^{51}Cr, ^{54}Mn a ^{58}Co.

Obdobně jsou aktivovány i další příměsi v chladivu primárního okruhu a proto je rovněž věnována pozornost chemické čistotě přísad používaných pro účely borové regulace a pro úpravu pH chladiva. Jedná se o příměsi obsažené v kyselině borité, čpavku a hydroxidu draselném. Aktivita je způsobená nejvýznamnějšími nuklidy ^{42}K, ^{41}Ar a ^{24}Na.

Významným nuklidem z hlediska dalšího zacházení s vodou primárního okruhu po přečištění na čistících stanicích je tritium (^3H). V chladivu vzniká mnoha jadernými reakcemi a na jeho tvorbě se především podílí termální štěpení – jako jeden z produktů trojného štěpení ^{235}U, aktivace deuteria v chladivu I.O. a přítomnost ^{10}B a ^7Li v palivu a zejména chladivu I.O.

12.2.1.3 Vzduch v šachtě reaktoru

V šachtě reaktoru zajišťuje odvod tepla cirkulační vzduchotechnický systém TL11 výkonem 65 000 m^3/h. Tokem neutronů z aktivní zóny reaktoru dochází k jaderným přeměnám kyslíku a dusíku a vzniku radionuklidu ^{14}C . Významný je též vznik radionuklidu ^{41}Ar z ^{40}Ar.

12.2.1.4 Voda v bazénu vyhořelého paliva

Voda bazénu vyhořelého paliva je kontaminována vodou primárního okruhu a radionuklidy pronikajícími pokrytím palivových článků. Tato voda je přečišťována na ionexových filtrech a vracena do systému. Největší podíl na aktivitě vody v bazénu vyhořelého paliva mají izotopy cesia. Významné je též zastoupení radionuklidů chrómu, manganu, kobaltu a jódu.

12.2.1.5 Média v navazujících technologiích

Navazující technologické systémy pracují s médiem, jehož aktivita má původ v médiu primárního okruhu. Úkolem těchto systémů je vytvořit pokud možno uzavřený okruh, ve kterém jsou radioaktivní kapaliny přečišťovány a vrací se zpět k dalšímu využití v primární části. Organizované i neorganizované úniky se shromažďují v nádržích, ze kterých se přečerpávají na čistící stanice. Při čištění se používá technologie destilace na odparkách v kombinaci s čištěním na ionexových filtrech. Způsob čištění a volba ionexových náplní závisí na původu zpracovávaných vod a chemickém složení. Radioaktivní koncentrát z odparek se upravuje bitumenačním procesem do formy bezpečné pro konečné uložení.

12.2.1.6 Chladivo sekundárního okruhu

Aktivita chladiva sekundárního okruhu je způsobena pouze možnými netěsnostmi parogenerátorů. Z hlediska poločasu rozpadu dominantního zdroje ionizujícího záření dusíku ^{16}N je významné časové zpoždění mezi primárním a sekundárním okruhem a mezi parogenerátorem a kondenzátorem. Vzhledem k poločasu rozpadu izotop ^{16}N a jeho vlastností jako zářiče gama je měření jeho aktivity na parovodech z parogenerátorů důležitým zdrojem informací meziokruhové těsnosti mezi primárním a sekundárním okruhem.

12.2.2 Zdroje kontaminace vzduchu

Jak již bylo uvedeno výše, je jedním ze zdrojů kontaminace vzduchu vzduch z prostoru šachty reaktoru. Dalším zdrojem jsou radioaktivní plyny a aerosoly z pomocných technologických systémů primárního okruhu. Do atmosféry místností se dostávají plynovými netěsnostmi a hlavně odparem z úniků kapalných médií. Tyto exhalace jsou zachycovány pomocí filtrů s účinností umožňující vypouštění odvodních vzduchotechnických systémů do životního prostředí. Hlavními zdroji výpustí do ovzduší jsou:

- Odvzdušnění z odplynovače primárního okruhu.
- Odpar ze zařízení a z kapalných úniků do místností kontrolovaného pásma.
- Odvzdušnění sekundárního okruhu.
- Vzduch v šachtě reaktoru.

Největším zdrojem kontaminované vzdušiny je odvzdušnění odplyňovače vody primárního okruhu. Pro přečištění této plynné směsi slouží speciální čisticí stanice technologického odvzdušnění. Odvzdušnění z ostatních aktivních technologických zařízení a odpary z neorganizovaných úniků do místností kontrolovaného pásma jsou filtrovány příslušnými vzduchotechnickými systémy, které jsou osazeny aerosolovými filtry a jódovými filtry. Odvzdušnění sekundárního okruhu a odvětrání místností, ve kterých nejsou významné zdroje kontaminace vzduchu, se nefiltruje.

12.3 Projektové řešení radiační ochrany

Základní úlohou radiační ochrany je ochrana provozního personálu uvnitř jaderné elektrárny a obyvatelstva v okolí jaderné elektrárny před účinky ionizujícího záření ze všech zdrojů ionizujícího záření přítomných v jaderné elektrárně za všech projektem předpokládaných provozních stavů, tedy normálního i abnormálního provozu a havarijních podmínek včetně těžkých havárií. Radiační ochrana je systémovým prostředkem, který přispívá k zajištění třetí základní bezpečnostní funkce „Izolace radioaktivních materiálů, stínění proti radiaci a řízení plánovaných radioaktivních výpustí jakož i omezení havarijních radioaktivních úniků“ (kap. 1.2.3).

12.3.1 Základní projektová východiska

Dvěma základními projektovými východisky jsou:

- Omezení ozáření a zajištění rozumně dosažitelné úrovně radiační ochrany při projektem předpokládaných provozních stavech a za havarijních podmínek.
- Nepřekročení nejvyšších přípustných (stanovených) ročních efektivních dávek ozáření obyvatel v okolí elektrárny, způsobených zdroji ionizujícího záření z jaderné elektrárny

Ke splnění základních projektových aspektů, zajišťujících radiační ochranu personálu i obyvatelstva v okolí jaderné elektrárny, je třeba uvažovat a provádět následující technická a organizační opatření:

Oddělení radioaktivních médií a látek od okolí

- Uzavřený primární okruh a navazující technologické okruhy s radioaktivními médii.
- Kontejnment k zachycení úniku chladiva primárního okruhu.
- Organizovaný sběr úniků radioaktivních médií z technologie.
- Zpracovávání a ukládání radioaktivních odpadů.

Dosažení co nejnižších úrovní radiace uvnitř jaderné elektrárny

- Stínění reaktoru a technologických zařízení primárního okruhu.
- Čištění chladiva primárního okruhu a ostatních kapalných technologických médií.
- Udržování optimálního chemického režimu chladiva primárního okruhu (snížení koroze a aktivace korozních produktů).
- Odsávání a filtrace vzduchu z provozních prostor jaderné elektrárny pomocí vzduchotechnických systémů.
- Dekontaminace technologických zařízení a provozních prostor jaderné elektrárny.

Řízení pohybu osob v prostorách s možným výskytem radiace

- Rozdělení prostor jaderné elektrárny na kontrolované pásmo, sledované pásmo a prostory mimo kontrolované pásmo.
- Rozdělení kontrolovaného pásma do kategorií podle radiačních rizik.
- Omezení délky pobytu v prostorách kontrolovaného pásma se zvýšeným radiačním rizikem.
- Použití osobních ochranných pomůcek při pracovní činnosti personálu v kontrolovaném pásmu.
- Vymezení ochranného pásma v okolí jaderné elektrárny

Trvalé sledování radiační situace

- Monitorování radiační situace v provozních prostorách.
- Monitorování ozáření personálu v kontrolovaném pásmu.
- Monitorování výpustí radioaktivních látek do ovzduší a vodotečí.
- Monitorování radiační situace v okolí jaderné elektrárny

12.3.1.1 Oddělení radioaktivních médií a látek od okolí

Základním prostředkem radiační ochrany je oddělení zdrojů ionizujícího záření od osob tak, aby nemohlo dojít k jejich nepřípustnému ozáření. Principiálně je jedno, zda se dotčené osoby nachází uvnitř technologických prostor jaderné elektrárny nebo kdekoliv jinde. Cílem oddělení zdrojů ionizačního záření je tedy udržení radiace v místech, která jsou pro tento účel projektově určena a kde je ochrana proti radiaci zajištěna projektovými prostředky.

Zdrojem ionizujícího záření je jednak samotný reaktor (aktivní zóna), jednak radioaktivní média, jejichž aktivita je důsledkem provozu reaktoru. Dalším zdrojem jsou pak produkty provozu jaderné elektrárny, tedy vyhořelé jaderné palivo a radioaktivní odpady (plynné, kapalné i pevné). Oddělení zdrojů radiace od okolí je základním projektovým požadavkem radiační ochrany ve všech úrovních ochrany do hloubky a je zajištěno prostřednictvím jednotlivých bariér proti šíření radioaktivních látek (kap. 1.2.2.2).

V případě vyhořelého jaderného paliva a radioaktivních odpadů jsou bariéry proti šíření radioaktivních látek do okolí nahrazeny jiným systémem bariér, než je tomu v případě jaderného rektoru a paliva v něm obsaženého. Jejich robustnost a odolnost je pak závislá jednak na úrovni obsahu radioaktivních látek (nízko, středně a vysokoaktivní odpady), jednak na charakteru a stavu ukládaného produktu (např. požadavky na těsnost vyhořelého jaderného paliva před uložením do skladovacích kontejnerů).

12.3.1.2 Dosažení co nejnižší úrovně radiace uvnitř jaderné elektrárny

Ve vnitřních prostorách jaderné elektrárny se v průběhu normálního i abnormálního provozu pohybuje provozní personál, případně personál dodavatelských organizací. Riziko ozáření personálu může vzniknout v zásadě dvěma způsoby:

- Přímým působením pronikavého záření z projektového místa vzniku (tedy například z reaktoru nebo cirkulačních smyček v průběhu provozu reaktoru na výkonu – DiD 1) na osoby, které jsou v okolí a nejsou dostatečně chráněny.
- Únikem radioaktivního média (o různé úrovni radiace) mimo projektové místo určení a jeho šířením do okolních technologií či prostor, kde radiace není v dané intenzitě očekávána (tedy například únik radioaktivního primárního chladiva na podlahu kobky, ve které probíhá údržba – DiD 1).

Oba výše uvedené mechanizmy lze rozšířit na všechny úrovně ochrany do hloubky a z důvodu efektivní radiační ochrany jsou pro jejich eliminaci použity dva různé projektové principy.

V případě prvním je to pro úroveň DiD 1 a DiD 2 umístění a stínění (viz kap. 12.3.2) technologie včetně řízení pohybu osob v místech s potenciálně vysokou radiací (viz dále). V případě DiD 3 (a v ještě větší míře DiD 4) je předpokládána vyšší radiační zátěž v prostorách bezpečnostních systémů, přičemž stínění je v tomto případě nahrazeno řízením pohybu personálu, případně použitím dodatečných ochranných prostředků.

Ve druhém případě je to pro úroveň DiD 1 a DiD 2 minimalizace aktivity médií, včasná dekontaminace aktivních povrchů technologie nebo stavebních konstrukcí a správná funkce vzduchotechnických systémů. V případě DiD 3 (a rovněž DiD 4) je pak projektovým principem udržení zdrojů radiace v co nejméně těkavé fázi (převedení z plynné do kapalné formy) tak, aby šíření radioaktivních látek bylo pod lepší kontrolou.

12.3.1.3 Řízení pohybu osob v prostorách s možným výskytem radiace

Dalším základním opatřením v projektovém řešení radiační ochrany patří rozdělení areálu STP EDU1-4. S ohledem na možnost ozáření personálu ionizujícím zářením v pracovních prostorách uvnitř areálu STP EDU1-4, jsou tyto prostory rozděleny na tři základní zóny:

- **Prostory mimo kontrolované pásmo a sledované pásmo** - čistá zóna, respektive ostatní prostory v areálu elektrárny, v nichž se nevykonává radiační činnost a je za běžných podmínek zajištěno, že nedojde k překročení obecných limitů radiační ochrany.
- **Sledované pásmo** se na pracovištích, kde se vykonávají radiační činnosti, vymezuje všude tam, kde se očekává, že efektivní dávka by mohla být vyšší než 1 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka pro oční čočku, kůži a končetiny by mohla být vyšší než jedna desetina limitu pro radiační pracovníky.
- **Kontrolované pásmo** - z hlediska požadavků na zajištění ochrany pracovníků před ionizujícím zářením a z hlediska výskytu radioaktivních látek a zajištění radiační ochrany je v areálu STP EDU1-4 vymezeno tzv. kontrolované pásmo. Je to ohraničený prostor, který se vymezuje tam, kde se očekává, že za běžného provozu nebo za předvídatelných odchylek od běžného provozu by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka pro oční čočku, kůži a končetiny by mohla být vyšší než tři desetiny limitu pro radiační pracovníky.

Do kontrolovaného pásma jsou trvale zahrnuta tato pracoviště:

- Vymezené a ohraničené části hlavních výrobních bloků
- Budovy aktivních pomocných provozů
- Objekty zpracování radioaktivních odpadů
- Mezisklad a sklad vyhořelého jaderného paliva
- Vymezené a ohraničené prostory provozních budov
- Pracoviště osobní dozimetrické kontroly v objektu závodního zdravotního střediska
- Laboratoře radiační kontroly okolí v Moravském Krumlově

Do prostor kontrolovaného pásma je možné vstoupit pouze přes hygienickou smyčku. Do kontrolovaného pásma vstupují pracovníci, případně další osoby, na základě platného povolení vstupu do kontrolovaného pásma a po převlečení do základních ochranných pracovních pomůcek v prostoru hygienických smyček. Každá osoba musí být vybavena elektronickým osobním dozimetrem a případně dalšími prostředky dozimetrické kontroly dle místa a charakteru práce.

Kontrolované pásmo je rozděleno dle úrovně radiační situace do tří kategorií:

- Obslužné prostory
- Poloobslužné prostory
- Neobslužné prostory

Zařazení do jednotlivých kategorií určuje režim vstupu a podmínky práce, přičemž základními podmínkami vstupu je použití osobních ochranných prostředků a prostředků osobní dozimetrické kontroly. Pro vstup do poloobslužných prostor je dále vyžadováno předchozí prověření radiační situace, respektive vystavení R-příkazu (pro práci ve zvýšeném radiačním riziku). Pro vstup neobslužných prostor je vyžadováno zvláštní písemné povolení, R-příkaz s podmínkami zajištění radiační ochrany, průběžné monitorování radiační situace a použití speciálních osobních ochranných pomůcek. Při vstupu do neobslužných prostor je rovněž třeba dodržovat zásady pro vstup do hermetické zóny.

12.3.1.4 Trvalé sledování radiační situace

Radiační situace na jaderném bloku i v okolí elektrárny je trvale monitorována. Systém radiační kontroly je dle druhu monitorování rozdělen na tyto podsystémy:

- Kontrola pracovního prostředí a prostorů EDU
- Kontrola technologických zařízení a médií
- Pohavarijní monitorování vybraných parametrů radiační kontroly

Systém radiační kontroly pracovního prostředí a prostorů EDU zajišťuje kontrolu radiační situace v kontrolovaném pásmu a v areálu STP EDU1-4, a to měřením:

- Úrovní dávkových příkonů gama záření (včetně pohavarijního monitorování)
- Příkonů dávkových ekvivalentů neutronového záření
- Objemové aktivity vzdušiny (radioaktivní vzácné plyny, plynný radiojod, radioaktivní aerosoly)
- Povrchové kontaminace prostorů, technologických zařízení, pracovních prostorů a podobně
- Kontaminace osob a dopravních prostředků na hranici střeženého prostoru
- Radiační situace v prostorách, určených pro výdej nápojů, a kontrolu kontaminace osob využívajících pitný režim v kontrolovaném pásmu EDU

Systém radiační kontroly technologických okruhů zajišťuje:

- Kontrolu funkčnosti technologických zařízení primárního okruhu
- Kontrolu účinnosti systémů čištění radioaktivních médií
- Kontrolu těsnosti zařízení primárního okruhu, jaderného paliva a odparek

Systém radiační kontroly aktivity výpustí zajišťuje kontrolu a monitorování aktivity výpustí radioaktivních látek:

- Do ovzduší (ve vzduchové směsi z ventilačních komínů obou hlavních výrobních bloků příslušející vždy ke 2 reaktorovým blokům EDU)
- Do vodotečí (v odpadním kanále, respektive na odtoku do Skryjského potoka)

12.3.2 Stínění na jaderné elektrárně Dukovany

Důležitým projektovým aspektem, zajištujícím snížení ozáření personálu a obyvatelstva v okolí STP EDU1-4, je instalace stínění ionizujícího záření z reaktoru a souvisejícího technologického zařízení. Účelem stínění zdrojů je:

- Omezení dávek na personál EDU při projektem předpokládaných stavech a za havarijních podmínek
- Zajištění ochrany technologických komponent a systémů tak, aby všechny systémy důležité pro bezpečnost provozu EDU byly chráněny před aktivací ionizujícím zářením a před nadměrným radiačním a tepelným poškozením. Ochranné stínění zajišťuje, že funkce staveb, komponent a systémů nebudou poškozeny a tím budou rovněž minimalizovány požadavky na údržbu.

Projekt EDU byl z hlediska stínění řešen tak, aby dávky personálu byly nejen pod úrovní limitů, obsažených v pravidlech radiační ochrany pro projektování, ale aby byly i na co nejnižší rozumně dosažitelné úrovni. Potřebné úrovně radiační ochrany stíněním je pak dosaženo aplikací sady kritérií.

Největší zdroje záření jsou umístěny do samostatných místností (kobek) oddělených od ostatních prostor stíněním, které zajišťuje, že dávkové příkony na personál při kontrole a běžné údržbě jsou co nejmenší; ke snížení průniku záření přístupovými otvory do těchto stíněných místností jsou použity labyrinty.

Čerpadla a ostatní pomocná zařízení jsou v případech, kdy je to možné, umístěna v jiných místnostech, než velké zdroje. Pomocná zařízení, obsahující radioaktivní média, jsou rovněž umístěna ve stíněných místnostech. Pro zkrácení doby, kterou musí strávit personál u těchto zařízení, a tím i snížení ozáření, jsou příslušné místnosti s aktivním zařízením (s čerpadly, armaturami atd.) dispozičně řešeny tak, aby práce mohly být provedeny bez problémů z hlediska dostatečného pracovního prostoru.

Ovládací armatury jsou tam, kde je to možné, umístěny v odstíněných místnostech armatur, aby se umožnila údržba armatur bez nutnosti drenážovat a dekontaminovat příslušná zařízení. Pro zvýšení ochrany personálu před ionizujícím zářením jsou používány armatury s dálkovým ovládáním, ať už elektrickým nebo ručním.

Systémy s radioaktivními médii jsou uspořádány v malých vzdálenostech od sebe tak, aby bylo minimalizováno stínění, potřebné k ochraně personálu. Průchodky ve stínících zdech jsou umístěny tak, aby se zabránilo přímým průstřelům radiace od

hlavních zařízení s radioaktivními médii. V místech, kde to není proveditelné, jsou průchodky opatřeny vlastním stíněním.

Potrubí s radioaktivními médii jsou vedena tak, aby bylo minimalizováno ozáření personálu. Proto jsou vedena potrubí s radioaktivními médii „nečistými“ potrubními chodbami nebo za stínícími zdmi s odpovídající tloušťkou a jsou oddělena potrubí s radioaktivními médii od potrubí s neaktivními médii. Potrubí jsou spádována tak, aby bylo možné před prováděním údržby odstranit usazeniny z potrubí, a kompenzační smyčky jsou řešeny tak, aby se zabránilo vzniku míst, kde se zachytávají usazeniny.

Nehomogenity ve stínění, způsobené stínícími zátkami, betonovým překrytím průlezů a stínícími dveřmi do prostor s vysokou radioaktivitou, jsou provedeny s přesazením a v případě nutnosti práce v prostorách se zvýšenou radiací je použito mobilní stínění pro snížení ozáření personálu.

12.3.2.1 Stínění jaderného reaktoru

Stínění toku ionizujícího záření z aktivní zóny jaderného reaktoru v axiálním (vertikálním) směru nahoru zajišťují postupně tyto systémy:

- Vrstvy vody, resp. chladiva primárního okruhu nad aktivní zónou
- Blok ochranných trub
- Víko tlakové nádoby reaktoru a kovové konstrukce horního bloku, zaplněné chladivem
- Horní a dolní biologická ochrana (k zamezení průstřelů podél konstrukce reaktoru)
- Součásti upevnění tlakové nádoby reaktoru v šachtě reaktoru

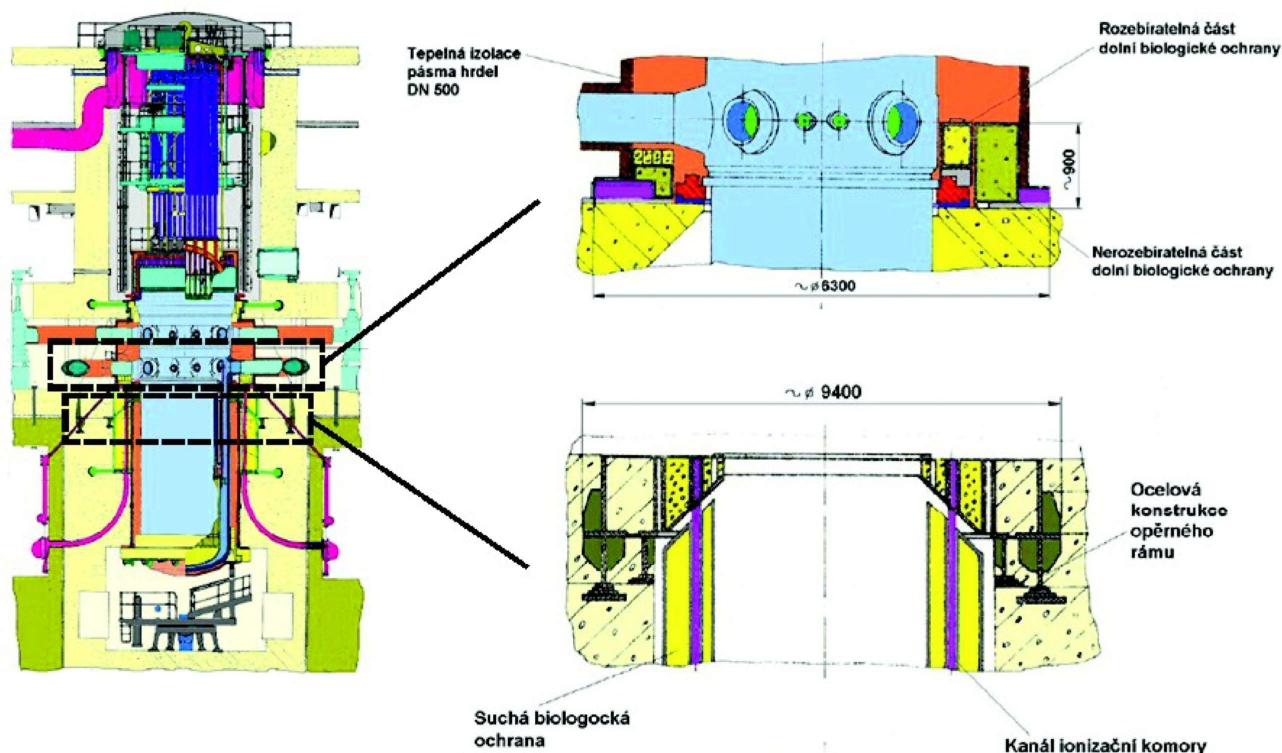
Stínění horního prostoru šachty reaktoru od záření vnitroreaktorových konstrukcí a nádoby reaktoru je dále zajištěno betonovou konzolí v oblasti horní příruby tlakové nádoby reaktoru, která má tloušťku je cca 0,75 m. Stínění v axiálním směru dolů (pod reaktorem) je tvořeno těmito částmi:

- Kovové konstrukce aktivní zóny a šachty reaktoru
- Vrstvy vody pod aktivní zónou
- Tlaková nádoba reaktoru
- Beton

Stínění toku ionizačního záření z aktivní zóny reaktoru v radiálním směru zajišťují postupně: -

- Vrstvy oceli (koš, šachta aktivní zóny)
- Vrstvy vody
- Tlaková nádoba reaktoru
- Suché boční stínění – suchá biologická ochrana (serpentinitový beton v ocelové nádobě)
- Betonová šachta reaktoru

V oblasti spodních hrdel hlavních cirkulačních potrubí a v mezeře mezi reaktorovou nádobou a betonovou konzolí zabraňuje šíření záření od aktivní zóny do primárního okruhu konstrukce uzlu upevnění tlakové nádoby a speciální pouzdra. Pouzdra jsou zaplněna zásypem ze serpentinitové drtě (asi 20 % hmotnosti) a litinových broků (asi 80 %). Oslabení průstřelů kanálem ionizačních komor se zajišťuje délkou kanálu a jeho ohybem. Kanál je uzavřen zátkou.



Obr. 133. Stínění reaktoru

12.3.2.2 Stínění primárního okruhu

Stínění primárního okruhu tvoří betonové zdi, obklopující technologické zařízení primárního okruhu, tedy cirkulační smyčky a další potrubí, čerpadla, parogenerátory a kompenzátor objemu. Základními stavebními materiály těchto zdí jsou beton a kovové konstrukce z oceli.

Stínění primárního okruhu zajišťuje ochranu personálu během provozu a po odstavení reaktoru před účinky ionizujícího záření ze štěpných a aktivačních produktů v primárním okruhu, minimalizaci dávek ozáření z radionuklidu ^{16}N při provozu jaderného reaktoru na výkonu a zároveň funguje jako doplnění stínění záření z reaktoru.

12.3.2.3 Stínění při transportně-technologických operacích

Stínění při transportně-technologických operacích má v provozu jaderné elektrárny zvláštní význam, neboť při odstávce reaktoru pro výměnu paliva je třeba reaktor demontovat a vyjmout některé jeho vnitřní části tak, aby bylo možno provést výměnu paliva. V případě pravidelné revize vnitřního povrchu reaktoru a vnitroreaktorových částí je pak nutné vyvézt vnitřní části reaktoru všechny.

Ozářené vnitroreaktorové části jsou silným zdrojem radiace a manipulace s nimi probíhá podle zvláštních technologických postupů, přičemž jako základní prvek radiační ochrany je použito stínění. Po odstavení reaktoru se vyjme horní blok a umístí do šachty revize. Poté se vyjímají a transportují zařízení z vnitřku reaktorové nádoby do míst, kde se ukládají nebo prohlížejí. Tato zařízení se transportují ve stínícím kontejneru, který má různou tloušťku stěny po výšce.

Stínicí kontejner je používán pro transport bloku ochranných trub, koše aktivní zóny, šachty reaktoru a dna šachty reaktoru, přičemž pro odkládání a revize vnitroreaktorových částí slouží zvláštní šachta na reaktorovém sále a jako stínění proti radiaci je použita voda. Vnitroreaktorové části jsou do stínícího kontejneru vtahovány jeřábem a speciálními přípravky, přičemž v době manipulace s vnitroreaktorovými částmi a jejich převozu je reaktorový sál uzavřen a manipulace jsou prováděny dálkově.

Při výměně paliva, tedy při dopravě palivové kazety z reaktoru do bazénu vyhořelého paliva, je stínění zajištěno dostatečnou vodní vrstvou nad hlavicemi palivových článků. Palivové kazety, uložené v bazénu vyhořelého paliva jsou stíněny rovněž vrstvou vody, respektive roztoku kyseliny borité. Po pětiletém skladování v bazénu vyhořelého paliva se vyhořelé palivové kazety přemisťují pod vodou do speciálního kontejneru CASTOR 440/84 a následně po vyčerpání a vysušení kontejneru se odvážejí do skladu vyhořelého jaderného paliva.

12.3.3 Vzduchotechnické systémy

12.3.3.1 Funkce a rozdělení vzduchotechnických systémů z pohledu radiační ochrany

Vzduchotechnické systémy EDU zajišťují jednak předepsané hygienické podmínky pro obsluhující personál a také vhodné pracovní prostředí pro technologické zařízení ve všech normálních a abnormálních provozních režimech (DiD 1 a DiD 2). Jednotlivá zařízení a jednotky vzduchotechnických systémů jsou projektovány k zajištění provozuschopnosti dle potřebných parametrů vzduchu (tlaku, teploty a radioaktivity). V úrovni DiD 3 (a tím i DiD 4) jsou vzduchotechnické systémy odstaveny, dojde k hermetizaci kontejnmentu včetně izolace vzduchotechnických systémů a RA látky jsou udržovány uvnitř hermetické zóny.

Pro provozování vzduchotechnických systémů EDU v úrovni DiD 1 a DiD 2 platí tyto zásady nutné pro zajištění radiační ochrany:

- Vzduch proudí vždy ve směru zvětšující se aktivity a vzdušina je před vypuštěním ventilačními komíny do ovzduší filtrována na aerosolových a jódových filtrech.
- Prostory s vyšším rizikem výskytu aktivity jsou udržovány v podtlaku proti okolním prostorům s menším rizikem výskytu aktivity; rozdíly tlaku jsou udržovány pomocí přetlakových klapek.
- Dle provozní důležitosti je spolehlivost provozu vzduchotechnických zařízení zajišťována s 50% až 200% rezervou jednotlivých vzduchotechnických jednotek.

Vzduchotechnické systémy reaktorovny se dělí z hlediska určení na přívodní, odvodní a cirkulační. Tyto systémy udržují v jednotlivých provozních prostorách požadované parametry vzduchu z hlediska teploty, aktivity, rozdílu tlaků a výměny vzduchu.

Přívodní vzduchotechnické systémy zásobují místnosti kontrolovaného pásma čerstvým upraveným vzduchem, který je nasáván přes světlíky ze střechy podélné etažérky. Vzduch je upraven prachovými filtry, ohříváky nebo chladiči a je pomocí ventilátorů dopravován vzduchovody příslušných systémů do jednotlivých místností.

Odvodní vzduchotechnické systémy zajišťují objemovou výměnu vzduchu v provozních prostorách kontrolovaného pásma a potřebný rozdíl tlaků mezi jednotlivými prostory. Tím zabezpečují podmínku proudění vzduchu ve směru zvětšující se aktivity. Odvodní ventilátory nasávají vzduch vzduchovody jednotlivých systémů z daného provozního prostoru, který odsávají. Přes instalované aerosolové a jódové filtry je vzduch vytlačován do sběrného vzduchotechnického kanálu a dále přes ventilační komín vypouštěn do atmosféry.

Cirkulační vzduchotechnické systémy odvádějí tepelnou energii, kterou uvolňuje technologické zařízení primárního okruhu. V trasách cirkulačního systému TL12, který ochlazuje vzduch z boxu parogenerátorů a paluby hlavních cirkulačních čerpadel, jsou navíc zařazeny aerosolové a jódové filtry k zachycení radioaktivních částic.

12.3.3.2 Radiační kontrola vzduchotechnických systémů

Radiační kontrola vzduchotechnických systémů zabezpečuje rychlé zjištění netěsnosti v technologickém zařízení, dále ověřuje správnou funkci a účinnost filtrů a

umožňuje rovněž vyhodnocení příspěvku jednotlivých vzduchotechnických systémů do celkové aktivity výpustí z ventilačního komína.

Radiační kontrola vzduchotechnických systémů je prováděna centrálním informačním a měřícím systémem radiační kontroly:

- Sdruženým kontinuálním odběrem vzdušiny z odvodních vzduchotechnických systémů (TL 70, TL71, TL73 a TL90) a následným měřením a vyhodnocováním objemové aktivity radioaktivních plynů, radioaktivních aerosolů a radioaktivního jódu.
- Kontinuálním odběrem vzdušiny z cirkulačních vzduchotechnických systémů hermetické zóny (TL10, TL11 a TL13) a následným měřením a vyhodnocováním objemové aktivity radioaktivních plynů.
- Diskontinuálním odběrem jednotlivých filtrů, zařazených v odběrových trasách cirkulačních vzduchotechnických systémů hermetické zóny (TL10, TL11 a TL13). Vyhodnocením aktivity radioaktivních aerosolů a jódu na těchto filtrech je následně stanovena objemová aktivita daných složek v jednotlivých vzduchotechnických systémech.

V případě hermetizace kontejnmentu (DiD 3 a DiD 4) dojde k automatickému odpojení odběrových tras z jednotlivých měření od kolektoru, vedoucího vzdušinu do ventilačního komína, a tím zabránění úniku radioaktivních látek do ovzduší.

12.3.4 Zařízení radiační kontroly

Sledování úrovní radiační situace v prostorách kontrolovaného pásma i v areálu STP EDU1-4 je zajišťováno pomocí systému radiační kontroly. Účelem toho systému je sledování těsnosti jednotlivých bariér a technologických zařízení, úrovní aktivit v technologických systémech, radiační situace v pracovním prostředí, pohavarijní monitorování (měření objemové aktivity ostré páry na parovodech PG, měření dávkového příkonu v hermetické zóně a měření dávkového příkonu nad bazénem skladu vyhořelého jaderného paliva), kontaminace osob a předmětů na hranicích kontrolovaného pásma a areálu jaderné elektrárny a monitorování radiační situace v areálu STP EDU1-4.

Dle funkčních požadavků a konstrukce je systém rozdělen na centrální informační měřicí systém radiační kontroly, autonomní měřicí přístroje a přenosné přístroje.

12.3.4.1 Centrální informační měřicí systém radiační kontroly (CIMSRK)

Centrální informační měřící systém radiační kontroly (CIMSRK) zabezpečuje nepřetržitou kontrolu měřených parametrů včetně pohavarijního monitorování vybraných parametrů. Jeho vlastností je nezávislost předávání informací, možnost změny druhů informačních a indikačních zařízení, signalizace překročení signálních úrovní, signalizace poruch a zápis vybraných měření.

Umístění jednotlivých zařízení souboru je dáno účelem daného měření a dovolenou maximální vzdáleností mezi komponenty systému. Detektory jsou umístěny buď přímo v místě měření, nebo v samostatných místnostech, kam jsou měřená média přivedena odběrovým potrubím. Zařízení pro sběr a zpracování dat je umístěno v příslušné dozorně radiační kontroly, kde jsou k dispozici všechny informace. Některé informace pak dále postupují k indikačním prvkům, které jsou umístěny na blokových dozornách a na dozorně společných zařízení. Informace o převýšení zásahových úrovní měření dávkových příkonů v pracovním prostředí je vyvedena na místo měření tak, aby byla k dispozici přímo obsluhujícímu personálu.

V detekčních jednotkách, které jsou součástí detekčních zařízení CIMSRK, dochází k přeměně ionizujícího záření na elektrický signál, jehož velikost (četnost impulsů) je úměrná hodnotě měřené dozimetrické veličiny (dávkový příkon, objemová aktivita, apod.). Na detekční jednotky navazují tzv. mezibloky a zařízení pro sdružování a přenos signálů. Tato zařízení slouží mimo jiné k zesílení a zpracování signálu, ovládání

detekčních jednotek a jejich napájení. Umožňuje rovněž provádět kontrolu provozuschopnosti detektorů ovládáním kontrolních blenkrů.

Systém dále obsahuje zařízení pro sběr, zpracování a vyhodnocení informací, zařízení pro kontrolu a výměnu informací, výstupní přenosová zařízení a signalizační, zobrazovací a ovládací výstup.

Zařízení CIMSRK je dle povahy důležitosti napájeno z 1. a 2. kategorie zajištěného napájení, autonomní přístroje pak z běžného rozvodu nezajištěného napájení.

12.3.5 Radiační kontrola pracovního prostředí

12.3.5.1 Zařízení pro kontrolu gama záření v pracovních prostorách

Měření dávkových příkonů gama záření v pracovních prostorách obou hlavních výrobních bloků, obou budov aktivních pomocných provozů a areálu střeženého prostoru (STP) EDU1-4 je zajištěno několika způsoby.

Prvním způsobem je kontinuální měření dávkového příkonu gama záření detekčními bloky systému CIMSRK, stabilně rozmístěnými v místnostech a chodbách hlavních výrobních bloků a budov aktivních pomocných provozů a dále v areálu STP EDU1-4. Dosažení, respektive překročení hodnot nastavené druhé signální úrovně je zvukově a světelně signalizováno v místě měření, na panelu příslušné dozorny je vyvedena i signalizace překročení první signální úrovně.

Druhým způsobem je kontinuální měřením pomocí sond teledozimetrického systému TDS 1, umístěných na hranicích střeženého prostoru STP EDU1-4. Dalším způsobem je periodické vyhodnocení integrální dávky gama záření, naměřené pomocí termo-luminiscenčních dozimetrů (TLD), trvale rozmístěných v určených prostorách kontrolovaného pásma a dalších prostorách EDU. Provádí se rovněž periodické měření dávkových příkonů gama záření pomocí přenosných přístrojů.

Pro měření gama záření při haváriích, spojených s bazény skladu vyhořelého jaderného paliva lze použít pohavarijní měření dávkového příkonu, umístěné nad bazénem skladu.

12.3.5.2 Kontrola úrovní neutronového záření

Měření příkonů dávkového ekvivalentu neutronového záření v pracovních prostorách obou hlavních výrobních bloků je zajištěno pomocí přenosných přístrojů. Přenosné přístroje zajišťují rovněž měření radiační situace v prostorách, kde se provádí výměna a transport vyhořelého paliva při odstávkách, respektive nutné práce v hermetických neobslužných prostorách při nominálním výkonu reaktoru.

12.3.5.3 Kontrola objemové aktivity aerosolů, jódu a radioaktivních vzácných plynů

Zdrojem aerosolů v pracovních prostorách kontrolovaného pásma, respektive v hlavních výrobních blocích nebo budovách aktivních pomocných provozů, jsou úniky technologických médií při normálním provozu bloku na výkonu nebo při práci na zařízení primárního okruhu během odstávek. Měření velikosti těchto úniků je zajištěno kontinuálním měřením objemové aktivity radioaktivních aerosolů a radiojódu detektory systému CIMSRK, stabilně rozmístěnými v místnostech a chodbách jaderné elektrárny, pomocí stabilního odběrového systému s vývěvami.

Dalším způsobem měření je diskontinuální měření objemové aktivity aerosolů nebo jódu, zachycených na filtrech při prosávání vzdušiny z odběrových linií vzduchotechnických systémů nebo vybraných místností s následným výpočtem objemové aktivity ze známého průtoku trasou a změřené aktivity filtru. Jiným způsobem je měření přenosnými přístroji.

Měření objemové aktivity beta radioaktivních vzácných plynů se provádí podobně jako u aerosolů a radiojódu ve vybraných místnostech hlavního výrobního bloku, respektive budov aktivních pomocných provozů a případně v areálu jaderné elektrárny. Je tedy zajišťováno odběrovým systémem vzorků vzduchu podobně jako měření aktivity aerosolů a jódu kontinuálně pomocí detekčních bloků, které jsou součástí CIMSRK.

12.3.5.4 Kontrola povrchové kontaminace provozních ploch, zařízení a personálu

Měření povrchové kontaminace je zajištěno pomocí laboratorního vyhodnocení aktivity otěrů dané plochy, pomocí přenosných přístrojů. Pomocí autonomních přístrojů se měří kontaminace oděvu, rukou, nohou a povrchu těla pracovníků v kontrolovaném pásmu a na výstupu z kontrolovaného pásma.

Hodnota povrchové kontaminace podlah, stěn, stropů, nábytku, zařízení, pracovních nástrojů v kontrolovaném pásmu EDU a směrná hodnota povrchové aktivity povrchu těla a vnitřních povrchů osobních ochranných prostředků v kontrolovaném pásmu a pracovních povrchů mimo kontrolované pásmo je udržována pod směrnými hodnotami povrchové aktivity pro radioaktivní kontaminaci dle vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně.

Na hranicích kontrolovaného pásma v hygienických smyčkách obou provozních budov jsou instalovaná zařízení, která zajišťují měření kontaminace alfa a beta/gama záření personálu na hranicích kontrolovaného pásma (přechod z nečisté do čisté části hygienické smyčky). Dále jsou na průchodu do čisté strany hygienické smyčky instalovány monitory kontaminace, které jsou určeny pro kontrolu povrchové kontaminace drobných předmětů a materiálů, vynášených z kontrolovaného pásma.

12.3.5.5 Kontrola kontaminace osob a dopravních prostředků na hranici střeženého prostoru

Ke zjištění přítomnosti kontaminace pracovníků při odchodu ze střeženého prostoru a ke stejné kontrole dopravních prostředků jsou ve vrátnici EDU umístěny přístroje radiační kontroly, které umožňují na obou vrátnicích monitorovat kontaminaci osob jak při jejich vstupu tak při jejich výstupu z areálu.

Na hlavní i záložní vjezdové vrátnici je rovněž měřena aktivita vozidel a nákladu jak při vjezdu do areálu, tak při jeho výjezdu. Měřicí technika pak vzhledem ke své konstrukci umožňuje i monitorování nadrozměrných nákladů.

12.3.5.6 Radiační kontrola pitného režimu v kontrolovaném pásmu

Pro zajištění pitného režimu v kontrolovaném pásmu byla zřízena výdejní místa pro nápoje na každém hlavním výrobním bloku. Výdejní místnosti jsou součástí kontrolovaného pásma. Dotčené prostory jsou vybaveny systémem radiační kontroly. Je to především stabilní monitoring pracovního prostředí, který je řešen kontinuálním měřením dávkového příkonu gama dvěma detekčními jednotkami, každá v jedné z dotčených místností. Dále je použito stabilní měření kontaminace osob a předmětů a průchod je omezen turniketem. Průchod turniketem je povolen až po změření osoby, včetně jejích drobných předmětů, stabilními měřícími zařízeními.

12.3.6 Radiační kontrola technologických systémů

Systém radiačních kontrol v technologických okruzích zajišťuje nepřetržité sledování transportu, hromadění aktivit v technologických okruzích a zařízeních s cílem kontroly jejich těsnosti a funkčnosti a následně tak vytváří podmínky pro dosažení potřebné úrovně radiační ochrany personálu a obyvatelstva v okolí STP EDU1-4.

Měření aktivit v technologických okruzích je zajišťováno dálkovým měřením pomocí centrálního informačního měřícího systému radiační kontroly (CIMSRK) dále autonomními přístroji nebo přenosnými přístroji a odběry vzorků, které jsou vyhodnocovány v radiochemických laboratořích (otěry, filtry aj.).

12.3.6.1 Kontrola aktivity chladiva primárního okruhu

Kontrola aktivity chladiva primárního okruhu, prováděná za účelem sledování těsnosti paliva a úrovně aktivit a kvality chladiva z hlediska radiační ochrany, je zajišťována soustavou kontinuálních měření na obou větvích čistící stanice chladiva primárního okruhu (SVO-1). Kontrola aktivity chladiva primárního chladiva je zajišťována soustavou měřících čidel, napojených na CIMSRK a samostatných přístrojů. Provádí se v tomto rozsahu:

- Měření objemové aktivity ^{87}Br v chladivu primárního okruhu (zpožděné neutrony) detekčními zařízeními za účelem sledování porušování pokrytí palivových proutků. Čidla jsou umístěna na potrubí u SVO-1.
- Měření objemové aktivity ^{88}Kr v chladivu primárního okruhu detekčním zařízením pro kontrolu počátečních stadií porušení pokrytí paliva. Čidlo je přiloženo k odběrovému potrubí v místnosti radiační kontroly.
- Měření objemové aktivity ^{132}I v chladivu primárního okruhu se provádí detekčním zařízením, které je rovněž přiloženo na odběrové potrubí v místnosti radiační kontroly. Cílem tohoto měření je prognóza ohrožení při možných únicích chladiva do místností a při havarijních situacích.
- Kontrola sumární gama aktivity chladiva se provádí čidly, která se přikládají k odběrovému potrubí v místnosti radiační kontroly za účelem sledování aktivity korozních produktů a dynamiky porušení paliva.

12.3.6.2 Kontrola aktivity vody sekundárního okruhu

Cílem měření aktivity vody sekundárního okruhu EDU je především kontrola těsnosti teplosměnných ploch parogenerátorů, jedná se tedy o kontrolu průniku radioaktivních látek z primárního do sekundárního okruhu. Kontrola je zajišťována v rozsahu:

- Kontrola aktivity vody společného odluhu z parogenerátorů, pro měření je odebírán vzorek vody ze společného potrubí odluhu všech parogenerátorů.
- Objemová aktivita odluhů jednotlivých parogenerátorů. Cílem monitorování celkové objemové aktivity odluhů jednotlivých parogenerátorů je sledování těsnosti teplosměnné plochy příslušného parogenerátoru.
- Kontrola aktivity ostré páry z parogenerátorů je prováděna čidly, která jsou přiložena na jednotlivé parovody v sekundární části elektrárny (podélná etažérka na podlaží + 14,7 m).
- Kontrola těsnosti teplosměnných ploch parogenerátorů pomocí měření aktivity ^{16}N. Kontrola je prováděna pomocí sond, umístěných u potrubí ostré páry na výstupu z parogenerátoru na podélné etažérce na podlaží + 14,7 m. Data ze sond jsou analyzována spektrometrickým systémem na počítačích a přepočtena na netěsnost v l/hod. Metoda je vysoce spolehlivá, neboť energie gama kvant ^{16}N (6,129 MeV) se nachází v oblasti, kde není žádné rušivé pozadí.
- Kontrola aktivity parovzdušné směsi z jímek turbogenerátorů je zajišťována trojicí čidel, která jsou zabudována do potrubí odvodu parovzdušné směsi z jímek turbogenerátorů na střechu strojovny.

12.3.6.3 Kontrola aktivity vložených okruhů

Cílem měření je kontrola těsnosti vložených okruhů hlavních cirkulačních čerpadel a systému regulace a ochran reaktoru. V případě obou okruhů je odebírán kontinuální vzorek, který je veden do místnosti radiační kontroly a je měřena jeho aktivita. Vzorek je po průchodu měřením vracen zpět do okruhu.

12.3.6.4 Kontrola funkce čisticích stanic

Měření aktivity jsou prováděna za účelem kontroly těsnosti technologického zařízení čistících stanic a kontroly jejich funkce. Všechna měření jsou dálková, zajišťovaná systémem CIMSRK. Rozsah kontrol je zaměřen na kontrolu aktivity kapalných a plynných médií, vracejících se zpět do okruhu nebo vypouštěných ven z elektrárny. Jedná se především o následující měření:

- Kontrola aktivity kondenzátu topné páry odparek v hlavním výrobním bloku. Jedná se o kontrolu aktivity kondenzátu topné páry na výstupu chladičů kondenzátu topné páry a není-li kondenzát aktivní, protéká dále do sběrné nádrže kondenzátu ve strojovně k dalšímu využití. V opačném případě je zaveden do jímky odpadních vod.
- Kontrola aktivity vody kontrolních nádrží čistící stanice odpadních vod z hlavního výrobního bloku se provádí za účelem kontroly funkce a těsnosti zařízení čistící stanice odpadních vod, tj. systému SVO-3.
- Kontrola aktivity vzdušiny čistící stanice odvzdušnění nádrží budovy aktivních pomocných provozů (TS 70). Cílem kontroly je sledování funkce čistící stanice.
- Kontrola čistící stanice plynů hlavního výrobního bloku (TS20, 40, 60). Cílem kontroly je získání informace o účinnosti, resp. funkčnosti čistící stanice plynů. Kontrola je prováděna na všech třech paralelních smyčkách čistící stanice plynů.
- Kontrola hydraulického vyplavování filtrů čisticích stanic je zajištěna měřením a porovnáním dávkového příkonu na filtrech příslušné čistící stanice a na potrubí vyplavování ionexové náplně. Cílem radiační kontroly je zjištění měrné aktivity ionexové náplně filtrů příslušné čistící stanice a kontrola stavu vyplavování ionexů.

12.3.6.5 Kontrola aktivity technické vody

Kontrola se provádí měřením objemové aktivity v jednotlivých větvích technické vody (3 systémy technické vody důležité a 1 systém technické vody nedůležité). Cílem měření je zjištění případné netěsnosti technologického zařízení s následným únikem aktivity do technické vody důležité nebo technické vody nedůležité. Systémy technické vody jsou uzavřené, technická voda se vrací k opětnému použití. V případě zjištění aktivity v technické vodě je třeba zdroj vyhledat, odstavit a opravit netěsnost.

12.3.7 Systém radiační kontroly v hermetické zóně

Systém radiační kontroly v hermetické zóně bloků EDU zajišťuje kontinuální monitorování radiační situace uvnitř kontejnmentu v normálních i abnormálních provozních stavech, za havarijních podmínek i v pohavarijních podmínkách. Jedna část zajišťuje měření dávkového příkonu v hermetické zóně s rozsahem od hodnot charakteristických pro provozní stav až po maximální projektovou a nadprojektovou havárii. Další část je monitorování objemových aktivit jednotlivých složek radioaktivních látek (aerosolů, jódů a vzácných plynů) ve vzdušině hermetické zóny od inicializace havárie (fáze s velmi malým únikem chladiva do hermetických prostor) až po odběr vysoce aktivních vzorků vzdušiny v případě velké havárie.

Systém radiační kontroly v kontejnmentu má za cíl poskytnout obsluze:

- Včasnou informaci o úniku chladiva ze zařízení primárního okruhu do hermetických prostorů.
- Údaje o charakteru netěsnosti (velikost netěsnosti a její rozvoj).
- Údaje o složení úniku.
- Přibližné místo úniku.
- Informace o radiační situaci v kontejnmentu z hlediska radiační ochrany pracovníků.

Z hlediska citlivosti měření a účelu lze měření rozdělit na části:

- Monitor včasné výstrahy
- Havarijní monitor
- Měření dávkových příkonů za normálního provozu
- Měření dávkových příkonů za havarijní situace

Vlastní měřicí systém je organizován jako samostatná jednotka na každém reaktorovém bloku s vlastním lokálním zobrazením. Tento systém je doplněn kontinuálním monitorováním teplot a tlaků v hermetické zóně. Následné vyhodnocení, zobrazení a archivace dat je společné pro všechny 4 bloky a je záležitostí CIMSRK.

12.3.7.1 Měření objemové aktivity vzdušiny

Systém měří objemové aktivity aerosolů, jódu a vzácných plynů jak za normálního provozu, tak za havarijní situace. Vzdušina je odebírána systémem vzorkovacích potrubních tras z prostoru v okolí kompenzátoru objemu na kótě +24 m, z boxu parogenerátorů na kótě +15,50 m z prostoru parogenerátorů 1 a 6 a z barbotážního koridoru na kótě +10 m.

Za havarijní situace, spojené se závažným únikem radioaktivních látek do prostoru hermetické zóny a s nárůstem tlaku v hermetické zóně, se automaticky izoluje monitor včasné výstrahy a vzdušina je přiváděna do havarijního monitoru. Zde je kontinuálně měřena objemová aktivita radioaktivních vzácných plynů a prováděn odběr aerosolů a plynného radiojódu na speciální filtrační kazetu (patronu) pro pozdější laboratorní vyhodnocení.

12.3.7.2 Monitor včasné výstrahy objemové aktivity

Monitor včasné výstrahy obsahuje kanály měření nízkých objemových aktivit a je určen ke kontinuálnímu monitorování objemové aktivity vzdušiny, odebírané z hermetické zóny. V činnosti je za normálního a abnormálního provozu. Monitor včasné výstrahy se skládá z měřícího kanálu aerosolů, měřícího kanálu jódů a měřícího kanálu vzácných plynů.

12.3.7.3 Havarijní monitor objemové aktivity

Havarijní monitor je kanál pro měření vysokých objemových aktivit. Je určen k odběru vzorků aerosolů a plynného radiojódu a pro kontinuální měření vysokých objemových aktivit radioaktivních vzácných plynů ve vzdušině. Do okruhu měření je zapojován za havarijní situace, spojené se závažným únikem primárního chladiva do prostoru kontejnmentu. Havarijní monitor se skládá z odběrového zařízení a měřícího kanálu vysokých objemových aktivit radioaktivních vzácných plynů. Odběrové zařízení je vybaveno vlastním odběrovým dmychadlem a umožňuje odběr aerosolů a plynného radiojódu do jedné ze tří pozic. Ze zařízení lze následně vyjmout exponované kazety pro gamaspektrometrické vyhodnocení v laboratoři.

12.3.7.4 Měření dávkového příkonu za normálního a abnormálního provozu

Systém měří dávkové příkony v prostorech hermetické zóny jak za normálního provozu tak i abnormálního provozu. Měření je zajištěno měřícími kanály dávkového příkonu gama s detekčními jednotkami, umístěnými v boxu parogenerátorů a v barbotážním koridoru. Tyto detekční jednotky jsou umístěny na nosné konstrukci na stěně a jejich funkcí je poskytnout informaci o přístupnosti hermetické zóny pro obsluhu. Zpracované údaje jsou předávány do centrálního informačního systému CIMSRK, který zabezpečuje další zpracování údajů, jejich zobrazení a archivaci.

12.3.7.5 Měření dávkového příkonu za havarijní situace a při těžké havárii

Pro tyto účely jsou instalovány tři kusy monitorů dávkového příkonu, které jsou připojeny do jednotlivých divizí systému pohavarijního monitorovacího systému PAMS1

(Post Accident Monitoring Systém). Informace z monitorů jsou vyvedeny do PAMS1, na zobrazovač v panelu blokové dozorny a dále do CIMSRK a dalších informačních systémů.

Měření za havarijní situace je zajištěno přímým měřením v prostoru hermetické zóny měřicími kanály s detekčními jednotkami vysokých dávkových příkonů gama, umístěnými po obou stranách barbotážního koridoru. Monitoring radiační situace v kontejnmentu je dále zajištěn nepřímým měřením (přes stěnu) dávkových příkonů v šachtě likvidace havárie a ve dvou plynojemech měřícími kanály dávkového příkonu gama s vysokorozsahovými detekčními jednotkami.

12.3.8 Bezpečnostní požadavky na systémy radiační kontroly

Na systémy radiační kontroly platí obecně stejné požadavky na klasifikaci a kvalifikaci jako na zařízení systému kontroly a řízení (viz kap. Error: Reference source not found této zprávy). Pro jednotlivé podsystémy a měřicí řetězce je rozhodující, jaká je jejich funkce v jednotlivých úrovních ochrany do hloubky. Zjednodušeně lze říci do které úrovně PAMS je zařazen jejich výstup. Do PAMS 1 jsou zařazena následující měření:

- Dávkový příkon v hermetické zóně
- Dávkový příkon na reaktorovém sále (nad bazénem vyhořelého paliva)
- Objemová aktivita ostré páry

Tato měření jsou klasifikována jako BT 3 a z pohledu seismicity jsou zařazena do třídy 1a.

Měřicí řetězce a vyhodnocovací systémy, jejichž výstupy jsou zařazeny do PAMS 2, jsou klasifikována jako BT 3 se seismickou kvalifikací 1c. Jedná se o následující položky:

- Objemová aktivita odluhů a odkalu parogenerátorů
- Objemová aktivita technických vod

Měřicí řetězce a vyhodnocovací systémy, jejichž výstupy jsou zařazeny do PAMS 3, jsou klasifikovány jako BT 3 bez seismické kvalifikace. Jedná se o následující položky:

- Dávkový příkon na blokové a nouzové dozorně
- Dávkový příkon v areálu EDU
- Objemová aktivita v jímce vývěv

Kvalifikace na okolní prostředí je závislá na umístění konkrétního prvku systému. Pro části systému (čidla, kabeláž atd.), umístěné uvnitř kontejnmentu platí kvalifikace na okolní prostředí LOCA. Pro části systému, umístěné na podélné etažérce podlaží + 14,7 m platí kvalifikace na okolní prostředí HELB. Pro ostatní části systémů, umístěné v normálním prostředí, pak neplatí žádné zvláštní kvalifikační požadavky nad rámec mezních pracovních podmínek prostředí.

12.3.9 Hodnocení provozu systémů radiační kontroly a připravenost na další provoz

Systém radiační kontroly je svým charakterem systém kontroly a řízení. Tyto systémy mají velmi krátký inovační cyklus, neboť v oblasti elektroniky dochází v současnosti ve světě k velmi rychlému technickému rozvoji. Původní systémy, které byly převážně analogové, byly postupem času nahrazeny systémy digitálními, na kterých probíhají průběžné modifikace a úpravy a udržují se na úrovni odpovídající současnému stavu technického rozvoje a poznání. Zvláštní péče je věnována zajištění náhradních dílů, neboť vzhledem k jejich rychlému zastarávání je třeba neustále inovovat jejich skladové zásoby.

Spolehlivost systému je prověřována běžným provozem, neboť systém radiační kontroly je v trvalém provozu. Na systému probíhá pravidelná údržba a pravidelné testy funkčnosti (tzv. blenkry). V průběhu provozu nebyly shledány žádné zásadní problémy, které by systémy radiační kontroly ohrozily v jejich funkčnosti. V rámci systémů radiační kontroly navíc existuje celá řada alternativních způsobů, jak aktuální radiační situaci

kdekoli a kdykoli zjistit pomocí přenosných měřicích přístrojů, kterými je EDU vybavena v dostatečné míře.

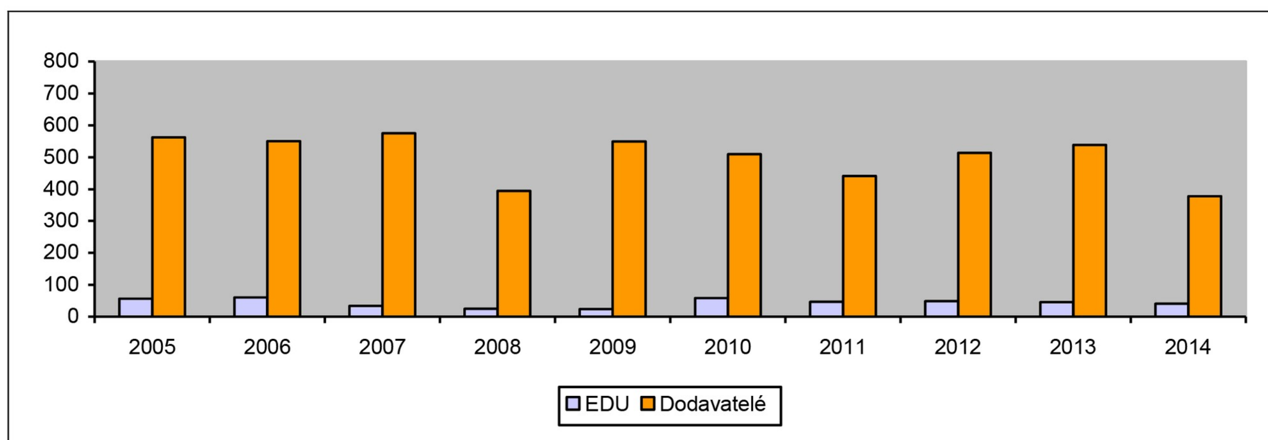
Za současně přijatých a postupně realizovaných opatření, zachování stávajícího a nově implementovaného rozsahu řízení dopadů stárnutí a průběžných modifikací systémů je systém radiační kontroly schopen bezpečného a spolehlivého provozu minimálně po dobu dalších 10 let.

12.4 Hodnocení dávek

Ozáření pracovníků, vyjádřené jako kolektivní efektivní dávka (KED) v EDU, je dlouhodobě na stabilní a očekávané úrovni. Většina z roční KED je čerpána v době odstávek, protože v této době probíhá nejvýznamnější část prací, co se týká časové náročnosti i práce v prostředí s radiačním rizikem. Protože velkou část odstávkových prací vykonávají pracovníci dodavatelských firem, odpovídá tomu také rozložení roční KED mezi zaměstnance EDU a pracovníky dodavatelských firem. Skutečné čerpání dávek za posledních 10 let pak shrnuje následující tabulka a graf:

Tab. 47. Přehled KED v EDU od roku 2005

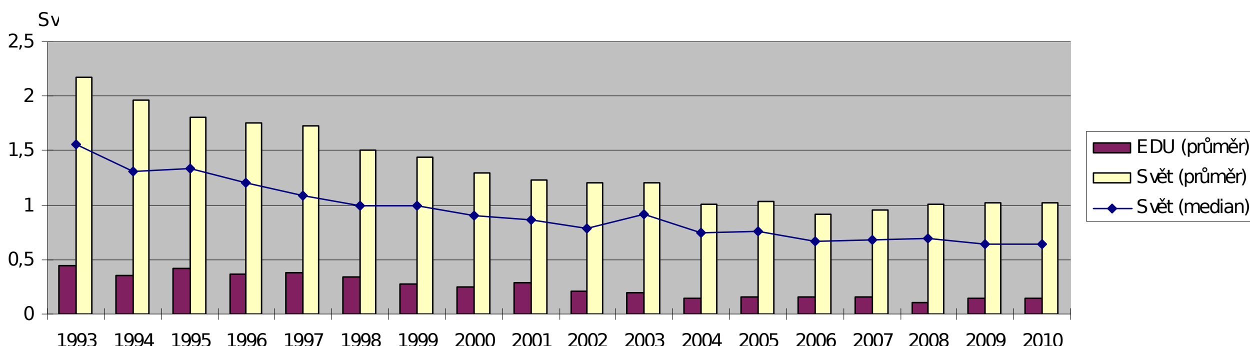
Rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
KED kmenoví [mSv]	57	60	34	25	24	58	47	49	46	41
KDE dodavatelé [mSv]	562	550	575	395	549	510	441	514	538	378



Obr. 134. Roční KED na EDU od roku 2005 v grafickém vyjádření

Rozsah čerpání KED na jednotlivé činnosti je ovlivněn množstvím a časovou náročností plánovaných kontrol a plánovaných investičních akcí v odstávkách. Do tohoto čerpání se mohou projevit také nahodilé opravy. Rizikové činnosti jsou plánovány a optimalizovány z pohledu čerpání kolektivní efektivní dávky na činnost i individuálních efektivních dávek personálu (princip ALARA).

Kolektivní efektivní dávka v EDU, vztažená na jeden reaktorový blok, patří mezi nejnižší na celém světě. To je důkazem vhodně zvolené konstrukce zařízení primárního okruhu, optimálního chemického režimu i celkově vhodně prováděné optimalizace radiační ochrany.



Obr. 135. Porovnání KED EDU se světovým průměrem

12.5 Principy zajištění radiační ochrany

Monitorování veličin důležitých z hlediska radiační ochrany je na Jaderné elektrárně Dukovany zajištěno v souladu se schválenými programy monitorování. Účelem programů monitorování je zejména:

- Vymezit veličiny, které budou monitorovány, způsob, rozsah a frekvence měření.
- Stanovit technické systémy a prostředky určené pro monitorování radiační situace včetně metod měření.
- Stanovit priority, cíle, časové fáze a oblasti monitorování.
- Stanovit referenční úrovně a příslušná opatření při jejich překročení.
- Stanovit povinnosti a odpovědnosti pracovníků zajišťujících havarijní monitorování.
- Stanovit postupy pro provádění a řízení monitorování radiační situace.
- Stanovit postupy předávání výsledků monitorování radiační situace a způsobů zaznamenávání měřených veličin.

12.5.1 Systém zajištění monitorování výpustí

Požadavek na monitorování plyne ze zákona č. 18/1997 Sb. (Atomový zákon). Podrobné požadavky, kladené na monitorovací program, jsou uvedeny ve vyhlášce SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně a v nařízení vlády č. 11/1999 Sb. o zóně havarijního plánování. Monitorování je zajištěno systémy radiační kontroly, popsanými v kapitole 12.3, a pomocí přenosných přístrojů radiační kontroly, případně odběry vzorků a následně laboratorním vyhodnocením. Všechny používané přístroje, odběry a laboratorní analýzy naplňují požadavky definované programy monitorování.

12.5.1.1 Monitorování výpustí do ovzduší

Plynné výpusti se monitorují z důvodu kontroly dodržování stanovených limitů a signalizace úniků radioaktivních látek do životního prostředí.

Monitorování výpustí se uskutečňuje sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a parametrů charakterizujících výpusti radionuklidů do okolí EDU. Zahrnuje jak soustavné bilanční měření všech radionuklidů, které závažně přispívají k ozáření obyvatelstva, tak i nepřetržitá měření reprezentativních radionuklidů, schopná rychle signalizovat odchylky od běžného provozu.

Měření aktivity plynných výpustí jsou umístěna v obou ventilačních komínech pro hlavní výrobní blok 1 i 2. Z důvodu požadavku zajištění nepřetržitého monitorování plynných výpustí je zařízení (kromě měření výpustí do ovzduší v havarijních podmínkách) v každém ventilačním komíně zálohováno. Technické řešení je rozčleněno do následujících funkčních subsystémů:

- systém měření výpustí do ovzduší v normálních provozních podmínkách,
- systém měření výpustí do ovzduší v havarijních podmínkách.

Přechod systému monitorování výpustí do ovzduší z normálního režimu do režimu havarijního provozu je buď automatický na základě vyhodnocení údajů z monitorů radiační kontroly nebo ruční místně nebo dálkově na základě zvážení celkové situace operátorem z centrální dozorny radiační kontroly.

V každém ventilačním komíně jsou instalovány dva samostatné komplety monitorování v normálních a abnormálních provozních podmínkách. Každý komplet se skládá z nezávislých samostatných monitorů:

- monitor vzácných plynů
- monitor aerosolů
- monitor jódu
- objemový průtokoměr výpusti ve ventilačním komíně

Pro každý ventilační komín je dále nainstalován jeden komplet havarijního monitorování s vyšším rozsahem měření. Komplet havarijního monitorování sestává z:

- monitor vzácných plynů
- předřazený havarijní odběr filtrem aerosolů a jodu
- monitorování dávkového příkonu gama vzdušiny ve vzduchovodu

Pro zobrazení dat ze systému monitorování výpustí do ovzduší za normální a havarijní situace je v centrálním informačním systému radiační kontroly vytvořen zvláštní modul. Informace z monitorů a zařízení jsou v systému pouze zobrazovány bez možnosti aktivního ovládání.

12.5.1.2 Limity výpustí do vodotečí a ovzduší

Vliv kapalných radioaktivních výpustí jaderné elektrárny na okolní obyvatelstvo a na životní prostředí je dán především úrovní kvality technologického zařízení a úrovní řízení technologických procesů. Mírou této kvality je ozáření jednotlivce z obyvatelstva, respektive ozáření kritické skupiny obyvatelstva v důsledku kapalných radioaktivních výpustí. Kritickou skupinou obyvatel se rozumí modelová skupina fyzických osob, která představuje ty jednotlivce z obyvatelstva, kteří jsou z daného zdroje a danou cestou ozáření nejvíce ozařováni. Uvažují se výpusti z ventilačních komínů elektrárny a výpusti do vodotečí z kontrolních nádrží budov aktivních a pomocných provozů a provozních budov.

Hodnoty jsou přepočteny na efektivní dávky jedince z kritické skupiny. Aktivity radionuklidů, vznikajících v JE a vypouštěných do ovzduší ventilačními komíny během jednoho kalendářního roku, nesmí způsobit u jednotlivce z obyvatelstva efektivní dávku vyšší než **40 µSv**. Aktivita tritia ^{3}H a aktivačních a štěpných produktů, vypouštěných do vodotečí, nesmí způsobit u jednotlivce z obyvatelstva efektivní dávku vyšší než **6 µSv**.

12.5.1.3 Hodnocení a výsledky čerpání limitů výpustí do ovzduší

Stanovení celkové efektivní dávky jednotlivce z kritické skupiny, způsobené výpustí radioaktivních látek zahrnuje následující kroky:

změření objemových aktivit jednotlivých radionuklidů ve vzorcích odebraných z příslušné formy výpustí v průběhu definovaného období

- Výpočet sumárních aktivit jednotlivých radionuklidů vypuštěných za toto období.
- Výpočet efektivních dávek způsobených jednotlivými radionuklidy.
- Výpočet celkové efektivní dávky způsobené všemi radionuklidy.
- Porovnání vypočtené celkové efektivní dávky způsobené všemi radionuklidy s limitní hodnotou.

- Stanovení míry bezpečnosti (jak aktuální, tak celkové), je vypočítáváno dosažené procento povoleného ročního limitu za příslušné období (měsíc, čtvrtletí, rok).

Za normálního provozu nejsou výpusti do ovzduší z jaderné elektrárny po jejich zředění v životním prostředí již měřitelné. Proto ocenění vlivu normálního provozu nelze provést bez bilančního měření výpusti a aplikace vhodného modelu šíření látek vypouštěných z EDU do ovzduší.

Vyhodnocení vlivu výpustí do ovzduší na okolí jaderné elektrárny je provedeno formou vyhodnocení efektivní dávky na jedince z kritické skupiny obyvatelstva, u něhož je konzervativně předpokládáno, že bude v dané oblasti žít následujících 50 let a konzumuje pouze lokální produkty.

Tab. 48. uvádí nejvyšší vypočtené individuální efektivní dávky z plynných výpustí EDU pro různé věkové kategorie v letech 2006 - 2014 v nejvíce ohrožených osídlených zónách.

Tab. 48. Nejvyšší individuální efektivní dávky z plynných výpustí EDU pro různé věkové skupiny v letech 2006-2014.

Nejvyšší úvazek IED z výpustí do ovzduší [μSv]							
rok	osídlená zóna č./název	věkové skupiny [roky]					
		0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	dospělí
2006	99/Kordula	0,034	0,045	0,046	0,047	0,045	0,047
2007	99/Kordula	0,026	0,033	0,034	0,034	0,033	0,034
2008	99/Kordula	0,03	0,039	0,04	0,041	0,039	0,04
2009	52/Dukovany	0,0148	0,0172	0,0174	0,0174	0,016	0,016
2010	64/ Horní Dubňany	0,0178	0,0205	0,0206	0,0205	0,0188	0,019
2011	52/Dukovany	0,0191	0,0226	0,0228	0,0227	0,0204	0,0207
2012	77/Tulešice	0,0154	0,0181	0,0183	0,0182	0,0164	0,0166
2013	88/Rešice	0,0159	0,0191	0,0193	0,0191	0,0171	0,0173
2014	88/Rešice	0,0169	0,0201	0,0203	0,0201	0,0181	0,0183

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že při uvádění radionuklidů do životního prostředí formou výpustí do ovzduší je dodržován autorizovaný limit efektivní dávky a jejího úvazku pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatelstva 40 μSv za rok, daný rozhodnutím SÚJB č.j.12135/2007.

12.5.1.4 Monitorování výpustí do vodotečí

Kapalné výpusti se monitorují za účelem kontroly dodržování stanovených limitů a signalizace úniků radioaktivních látek. V případě překročení povolené aktivity kapalných výpustí z vybraných kontrolních nádrží systém zajistí přerušení jejich vypouštění.

Aktivity výpustí radioaktivních látek z EDU do vodotečí jsou monitorovány jednak v místě vzniku vypouštěných odpadních vod, tedy v kontrolních nádržích v obou budovách aktivních pomocných provozů, respektive v obou provozních budovách a dále pak v místě vypouštění vod do vodoteče, tedy v odpadním kanále. Dle místa odběru vzorku je monitorování výpustí do vodotečí rozděleno na:

- monitorování objemové aktivity vod vypouštěných z kontrolních nádrží,
- monitorování celkové objemové aktivity vod v odpadním kanále.

V kontrolních nádržích je před zahájením jejich vypouštění prováděna kontrola aktivity vody, která spočívá v odběru vzorku vody a následném provedení spektrometrického stanovení celkové objemové gama aktivity a objemové aktivity tritia

^{3}H vzorku v chemické laboratoři příslušného hlavního výrobního bloku. V případě dosažení vyhovujících, respektive podlimitních hodnot obou aktivit pro celkovou objemovou gama aktivitu, respektive pro objemovou aktivitu tritia lze danou kontrolní nádrž vypustit do venkovní kanalizace. V případě překročení daných limitních hodnot není možné nádrž vypustit do venkovní kanalizace a je třeba její obsah vrátit na čisticí stanici odpadních vod.

O vypouštění kontrolních nádrží do venkovní kanalizace je vedena evidence v knize kapalných výpustí. Před zahájením vypouštění dané kontrolní nádrže je nutné nastavit trasu vypouštění, odemknout a otevřít vypouštěcí armaturu a po vypuštění kontrolní nádrže vypouštěcí armaturu uzavřít a uzamknout. Během vypouštění každé kontrolní nádrže je na monitoru aktivity vod v odpadním kanále sledována objemová aktivita.

Kromě vzorku vody pro analýzu za účelem rozhodnutí o vypouštění je z každé kontrolní nádrže před jejím vypuštěním odebrán ještě vzorek vody pro bilanční vyhodnocení aktivity jednotlivých radionuklidů do vodotečí a rovněž tritia, které je prováděno v laboratoři radiační kontroly okolí v Moravském Krumlově. Vzorky z vypuštěných kontrolních nádrží za celý měsíc jsou postupně slévány, chemicky upravovány a následně převedeny do stavu potřebného pro stanovení aktivity jednotlivých radionuklidů. Při bilancování kapalných výpustí z EDU se postupuje v souladu s doporučení Evropské komise č. 2004/2/Euratom.

12.5.1.5 Hodnocení a výsledky čerpání limitů výpustí do vodotečí

Vyhodnocení vlivu kapalných výpustí na okolí EDU je provedeno v souladu s rozhodnutím SÚJB čj. 12136/2007 formou vyhodnocení efektivní dávky na jedince z kritické skupiny obyvatelstva, u něhož je konzervativně předpokládáno, že uspokojuje všechny potřeby v tekutinách vodou z řeky Jihlavy odebíranou pod výpustním profilem. Nejbližší osídlenou zónou a tudíž i zónou s největší možnou radiační zátěží z EDU je oblast Mohelno - Lhánice.

Výše zmíněný přístup k hodnocení odráží zejména skutečnost, že hlavní složku uplatňující vliv na úvazek efektivní dávky představuje tritium, které se nekumuluje v přírodních anorganických ani organických prostředích či materiálech. Tím je dáno, že maximálně konzervativní výsledky je možno očekávat u přímé konzumace kontaminovaného vody, tj. oproti případům mnohých jiných radionuklidů. Přímá konzumace vody odebírané postulovaným hypotetickým jedincem z řeky Jihlavy pod výpustním profilem je proto vybrána jako maximálně konzervativní případ pro analýzu vlivu kapalných výpustí na okolí EDU.

Tab. 49. uvádí nejvyšší individuální efektivní dávky z kapalných výpustí EDU pro různé věkové skupiny v letech 2006-2014 v nejbližší osídlené zóně Mohelno - Lhánice.

Tab. 49. Nejvyšší individuální efektivní dávky z kapalných výpustí EDU pro různé věkové skupiny v letech 2006 - 2014, zóna č. 41 Mohelno - Lhánice.

Nejvyšší úvazek IED z výpustí do vodotečí [µSv]						
rok	věkové skupiny [roky]					
	0 - 1	1 - 2	2 - 7	7 - 12	12 - 17	dospělí
2006	1,43	1,09	1,01	0,76	0,61	0,85
2007	1,29	0,98	0,91	0,69	0,55	0,76
2008	1,27	0,97	0,89	0,67	0,54	0,75
2009	1,53	1,24	1,39	1,11	0,91	1,24
2010	1,148	0,896	1,021	0,787	0,637	0,931
2011	1,787	1,411	1,599	1,249	1,025	1,463
2012	1,971	1,535	1,752	1,347	1,089	1,593
2013	1,467	1,142	1,304	1,002	0,809	1,185

2014	2,914	2,262	2,856	1,9818	1,596	2,348

12.5.2 Radiační kontrola okolí

Radiační kontrola okolí slouží ke kontrole dodržování povolených výpustí a k včasnému zjištění a zhodnocení případných úniků a jejich důsledků na obyvatelstvo v okolí pracoviště a na životní prostředí a za běžného provozu pro potvrzování bezpečnosti provozu ve vztahu k okolí. Monitorování je uskutečňováno sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a parametrů charakterizujících pole záření a výskyt umělých radionuklidů v životním prostředí v oblasti Zóny havarijního plánování EDU.

Pro zpracování a vyhodnocení vzorků výpustí EDU do ovzduší a do vodotečí a pro zpracování a měření vzorků pro komplexní sledování a vyhodnocování radiační situace v okolí EDU byla zřízena samostatná Laboratoř radiační kontroly okolí (LRKO) v Moravském Krumlově a Stabilní dozimetrické stanice radiační kontroly okolí v Dolních Dubňanech, Mohelně, Moravském Krumlově, Rouchovanech, Slavěticích a v areálu EDU.

V letech 1982 - 1984 probíhalo předprovozní monitorování okolí EDU. Prováděné monitorování umožnilo získat v nezbytném rozsahu podklady o původním stavu okolí EDU, umožnilo získat potřebná data a zkušenosti pro období provozu elektrárny a prověřilo připravenost monitorovacího systému před zahájením provozu elektrárny. Byl proveden výběr a odzkoušení optimálních metodik odběru, zpracování a měření vzorků životního prostředí v okolí EDU, byl ověřen způsob vyhodnocování a interpretace naměřených hodnot. Všechna měřící zařízení jsou ze zákona ověřována u Českého metrologického institutu - Inspektorátu pro ionizující záření. Z provedeného předprovozního monitorování byly pravidelně vydávány čtvrtletní a roční zprávy, které byly předávány státnímu dozoru a byly poskytovány veřejnosti.

Měření dávky termoluminiscenčními dozimetry je navázáno na kalibraci v akreditované kalibrační laboratoři EDU. Radiometrická měření a radiochemické analýzy, prováděné v rámci radiační kontroly okolí, jsou navázány na státní etalony. Z prováděného monitorování jsou pravidelně vydávány čtvrtletní a roční zprávy, které jsou předávány státnímu dozoru a jsou poskytovány veřejnosti.

12.5.2.1 Způsoby zajištění monitorování okolí

Monitorování je zajištěno následujícím rozsahem kontrolních měření:

- Kontrolou úrovní plošné aktivity umělých radionuklidů v atmosférických spadech
- Kontrolou úrovní objemové aktivity umělých radionuklidů v aerosolech ovzduší včetně plynného radiojódu
- Kontrolou úrovní objemové aktivity tritia v srážkových vodách
- Kontrolou úrovní objemové aktivity umělých radionuklidů v povrchových vodách
- Kontrolou úrovní objemové aktivity umělých radionuklidů v pitných vodách
- Kontrolou úrovní objemové aktivity umělých radionuklidů v podzemních vodách
- Kontrolou úrovní objemových aktivit umělých radionuklidů v mléce
- Kontrolou úrovní příkonu dávkového ekvivalentu záření gama pomocí termoluminiscenčních dozimetrů
- Kontrolou úrovní plošných aktivit umělých radionuklidů (In Situ)
- Kontrolou úrovní měrných aktivit umělých radionuklidů v zemědělských plodinách
- Kontrolou úrovní měrné aktivity umělých radionuklidů v rybách
- Kontrolou úrovní měrné aktivity umělých radionuklidů v sedimentech povrchových vod
- Kontrolou úrovní měrné aktivity umělých radionuklidů v půdách

Výše uvedené kontroly jsou zajišťovány pomocí zařízení ve vybavení LRKO pro provádění odběrů vzorků a jejich analýzy, stabilních dozimetrických stanic radiační kontroly okolí pro odběry aerosolů, plynného radiojódu, spadů a srážkových vod, systému monitorovacích sond podzemních vod v areálu a v okolí EDU, termoluminiscenční dozimetrií pro měření dávek a dávkových příkonů záření gama a v neposlední řadě pomocí mobilních monitorovacích skupin.

12.5.2.2 Rozsah kontrol a kontrolní místa

V zóně havarijního plánování EDU je v provozu 6 stabilních dozimetrických stanic radiační kontroly okolí kruhovitě rozmístěných kolem elektrárny. Rozmístění a počty stanic byly určeny na základě hustoty osídlení v daném sektoru, geografické situace a z dlouhodobých sledování meteorologických údajů (převládající směry větrů). Jsou umístěny v obcích Dolní Dubňany, Mohelno, Rouchovany a Slavětice. Jedna stanice je umístěna přímo v areálu elektrárny a jedna v objektu LRKO v Moravském Krumlově.

Kontrola dlouhodobých radioaktivních aerosolů je prováděna nepřetržitým odběrem velkoobjemovým odběrovým zařízením se záchytem aerosolových částic na pevný filtr, umístěný ve stabilních dozimetrických stanicích a s vyhodnocováním v intervalu jedenkrát za týden v LRKO. Kontrola plynného radiojódu je prováděna nepřetržitým odběrem odběrovým zařízením se záchytem plynného jódu na jódovou patronu, umístěnou ve stabilních dozimetrických stanicích a s vyhodnocováním v intervalu jedenkrát za týden v LRKO. Ve stabilních dozimetrických stanicích jsou dále umístěna zařízení pro záchyt spadu a srážek z atmosféry s vyhodnocením jednou za měsíc v LRKO.

V pravidelných měsíčních a čtvrtletních intervalech jsou kontrolovány povrchové vody v okolních řekách a přehradách. V pravidelných měsíčních a ročních intervalech jsou kontrolovány pitné vody v okolních obcích. V měsíčním intervalu je v areálu elektrárny a v jejím okolí monitorována podzemní voda pomocí sítě monitorovacích objektů podzemních vod (kontrolních vrtů). Mléko je odebíráno pravidelně ve 14-ti denním intervalu z jednoho odběrového místa v okolí EDU. Zemědělské produkty jsou kontrolovány jednou ročně do vzdálenosti cca 5 km od elektrárny se zvláštním zřetelem na ochranné pásmo zejména v katastrech obcí Dukovany, Mohelno, Slavětice a Rouchovany. Kontrola sedimentů v řece Jihlavě a odpadním kanále se provádí ročně. Kontrola půd se provádí ročně v místech stabilních dozimetrických stanic obcí Dukovany, Mohelno, Slavětice, a Rouchovany, Moravský Krumlov a areál EDU. V přehradní nádrži Dalešice - Mohelno se jednou ročně provádí kontrola ryb. Čtvrtletně jsou vyhodnocovány TLD dozimetry umístěné v kontrolních bodech v okolí EDU.

Provádění měření a provádění odběrů vzorků v terénu je zajišťováno pomocí mobilních monitorovacích skupin. Pro tento úkol je LRKO vybaveno automobilem se zvýšenou průchodností terénem. Vozidlo je vybaveno radiovou stanicí a dále je vybaveno podle činnosti monitorovací skupiny, zejména přístrojem pro měření dávek a dávkového příkonu, přístrojem pro měření kontaminace, odběrovým zařízením pro odběr aerosolů a jódu z ovzduší, odběry vzorků životního prostředí. Jedna mobilní skupina má ve vybavení zařízení pro přenosnou spektrometrii záření gama s polovodičovým detektorem.

12.5.2.3 Základní metody monitorování

Laboratoř radiační kontroly okolí EDU, dislokovaná v Moravském Krumlově, slouží pro zpracování a vyhodnocení vzorků výpustí EDU do ovzduší a do vodotečí a pro zpracování a vyhodnocení vzorků životního prostředí. Rozhodnutím Státního úřadu pro jadernou bezpečnost je pracoviště LRKO zařazeno do I. kategorie kontrolovaného pásma a je zde povoleno nakládat se zdroji ionizujícího záření, a to způsobem používání uzavřených a otevřených radionuklidových zářičů na pracovišti.

Laboratoř radiační kontroly okolí EDU je akreditovanou zkušební laboratoří č. 1241.3. Osvědčení o akreditaci je vystaveno Českým institutem pro akreditaci na základě posouzení splnění akreditačních kritérií podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005.

Předmětem akreditace je měření veličin v atomové a jaderné fyzice, měření vzorků médií vypouštěných jadernou elektrárnou do okolí a měření vzorků životního prostředí.

V LRKO jsou prováděna laboratorní stanovení aktivity umělých radionuklidů s využitím spektrometrické analýzy záření gama s polovodičovými detektory, měření nízkých aktivit alfa a beta záření, stanovení aktivity umělých radionuklidů na základě beta záření pomocí kapalinové scintilační spektrometrie, provádí se stanovení integrálních dávek pomocí termoluminiscenčních dozimetrů, jsou prováděna operativní stanovení beta, gama aktivit vzorků. Jsou prováděna stanovení umělých radionuklidů terénní gamaspektrometrickou analýzou a jsou prováděna měření dávkových příkonů. Pro použití těchto metod jsou laboratoře LRKO vybaveny příslušným přístrojovým vybavením.

12.5.2.4 Výsledky monitorování radiační situace okolí EDU

Spady se odebírají ve stabilních dozimetrických stanicích v intervalech daných monitorovacím programem. Spady jsou monitorovány v šesti bodech v okolí EDU tak, aby byly pokryty směry převládajících větrů od elektrárny. Ve spadech je sledován obsah aktivačních a štěpných produktů metodou polovodičové spektrometrie gama. Ve spadech je měřen v současnosti pouze radionuklid ^{7}Be (vzniká převážně působením kosmického záření), který pochází z globálního spadu. Příčinou zvýšených hodnot umělých radionuklidů (^{95}Nb, ^{95}Zr, ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{141}Ce, ^{144}Ce) v roce 1986 byla havárie na JE Černobyl. V období 1995 - 2014 jsou hodnoty všech umělých radionuklidů pod minimální detekovatelnou aktivitou. Vliv provozu EDU nebyl za celé sledované období 1984 - 2014 zaznamenán.

Aerosoly a plynný ^{131}I se odebírají ve stabilních dozimetrických stanicích v intervalech daných monitorovacím programem. Aerosoly jsou monitorovány v šesti bodech v okolí EDU tak, aby byly pokryty směry převládajících větrů od elektrárny. V aerosolech je sledován obsah aktivačních a štěpných produktů metodou polovodičové spektrometrie gama. V aerosolech je měřen v současnosti pouze radionuklid ^{7}Be (vzniká převážně působením kosmického záření), které pochází z globálního spadu. Příčinou zvýšených hodnot umělých radionuklidů (^{95}Nb, ^{95}Zr, ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{131}I, ^{132}Te, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{140}Ba, ^{140}La, ^{141}Ce, ^{144}Ce) v roce 1986 byla havárie na JE Černobyl. V období 1995 - 1997 jsou měřeny nahodile zvýšené hodnoty ^{137}Cs (část pochází z globálního spadu a část z resuspenze původního spadu s půdního povrchu). V červnu 1998 byla měřena zvýšená hodnota ^{137}Cs. Příčinou zvýšeného obsahu ^{137}Cs v ovzduší v okolí EDU bylo roztavení zářiče ^{137}Cs v ocelárně ve Španělsku). V květnu 2011 byly naměřeny zvýšené objemové aktivity ^{131}I (aerosol), ^{134}Cs, ^{137}Cs a ^{131}I (plyn), které byly způsobeny stopovým množstvím těchto radionuklidů, jež byly výškovým prouděním vzduchu unášeny kolem Země. Zdrojem těchto stopových množství byly havarované bloky v JE Fukušima v Japonsku. V listopadu 2011 byly naměřeny zvýšené objemové aktivity ^{131}I (aerosol), které byly způsobeny výpustí tohoto radionuklidu z Izotopového institutu v Budapešti. Vliv provozu EDU nebyl za celé sledované období 1984 - 2014 zaznamenán.

Srážkové vody se odebírají ve stabilních dozimetrických stanicích v intervalech daných monitorovacím programem. Srážkové vody jsou monitorovány v šesti bodech v okolí EDU tak, aby byly pokryty směry převládajících větrů od EDU. Ve srážkových vodách je sledován obsah tritia metodou kapalinové scintilační spektrometrie beta. V žádném z měřících bodů nebyl v období 1991 - 2014 zaznamenán zvýšený obsah tritia. Vliv provozu EDU nebyl za celé sledované období 1991 - 2014 zaznamenán.

Povrchové vody se odebírají z řeky Jihlavy ve vybraných profilech, které jsou ovlivněny kapalnými výpustěmi z EDU v intervalech daných monitorovacím programem. Dále se odebírají z vodních toků neovlivněných kapalnými výpustěmi. V povrchových vodách je sledován obsah tritia metodou kapalinové scintilační spektrometrie beta, aktivačních a štěpných produktů metodou polovodičové spektrometrie gama a obsah stroncia metodou spektrometrie beta. V povrchových vodách (řeka Jihlava) je měřen v současnosti pouze radionuklid ^{3}H, hodnoty objemových aktivit tritia v řece Jihlavě jsou v souladu s očekávanými projektovými hodnotami. Příčinou zvýšených hodnot umělých radionuklidů (^{90}Sr, ^{103}Ru, ^{134}Cs, ^{137}Cs) v roce 1986 byla havárie na JE Černobyl. Vliv

provozu EDU nebyl s výjimkou radionuklidu tritia (^{3}H) za celé sledované období 1984 – 2014 zaznamenán.

Pitné vody se odebírají ze studní ležících blízko řeky Jihlavy, které jsou ovlivněny kapalnými výpustěmi z EDU v intervalech daných monitorovacím programem. Dále se odebírají ze studní neovlivněných kapalnými výpustěmi. V pitných vodách je sledován obsah tritia metodou kapalinové scintilační spektrometrie beta, aktivačních a štěpných produktů metodou polovodičové spektrometrie gama a obsah stroncia metodou spektrometrie beta. V pitných vodách je měřen v současnosti pouze radionuklid tritium (^{3}H). Hodnoty objemových aktivit tritia v pitných vodách jsou v souladu s očekávanými hodnotami. Příjem tritia pitím těchto vod představuje zcela zanedbatelný příspěvek k ozáření člověka ve srovnání s ostatními zdroji ozáření. Vliv provozu EDU nebyl s výjimkou radionuklidu tritia za celé sledované období 1984 -2014 zaznamenán.

Podzemní vody se odebírají z vrtů radiační kontroly (areál EDU, hlavní výrobní bloky), vrtů HJ (areál EDU, úložiště radioaktivních odpadů), vrtů J (areál EDU, mezisklad vyhořelého paliva), vrtů HVP a HVM (blízké okolí EDU) v intervalech daných monitorovacím programem. V podzemních vodách je sledován obsah tritia metodou kapalinové scintilační spektrometrie beta, aktivačních a štěpných produktů metodou polovodičové spektrometrie gama a obsah stroncia metodou spektrometrie beta. V podzemních vodách v areálu JE Dukovany a v okolí JE Dukovany jsou trvale měřeny zvýšené hodnoty tritia. Naměřené hodnoty jsou vyšší než záznamová úroveň, avšak nedosahují hodnot vyšetřovacích úrovní dle monitorovacího programu. Obsah ostatních aktivačních a štěpných produktů nebyl gamaspektrometrickými analýzami prokázán. Vliv provozu JE Dukovany nebyl s výjimkou radionuklidu tritia za celé sledované období 1984 -2014 zaznamenán.

Mléko je odebíráno v zemědělském družstvu z okolí EDU v intervalech daných monitorovacím programem. V mléce je sledován obsah aktivačních a štěpných produktů metodou polovodičové spektrometrie gama a obsah stroncia metodou spektrometrie beta. V mléce je měřitelné z umělých radionuklidů pouze ^{90}Sr a ^{137}Cs, které pocházejí z globálního spadu. Příčinou zvýšených hodnot umělých radionuklidů (^{90}Sr, ^{131}I, ^{134}Cs, ^{137}Cs) v roce 1986 byla havárie na JE Černobyl. Vliv provozu EDU nebyl za celé sledované období 1984 - 2014 zaznamenán.

Hodnoty příkonu **dávkového ekvivalentu záření gama** se trvale měří ve vybraných bodech v okolí EDU pomocí termoluminiscenčních dozimetrů v intervalech daných monitorovacím programem. Příčinou zvýšených hodnot příkonu dávkového ekvivalentu záření gama v roce 1986 byla havárie na JE Černobyl. Současné hodnoty příkonu dávkového ekvivalentu záření gama již poklesly na úroveň před rokem 1986 (havárie na JE Černobyl) a jsou na úrovni přirozeného pozadí. Vliv provozu EDU nebyl za celé sledované období 1983 – 2014 zaznamenán.

Hodnoty **plošné aktivity umělých radionuklidů gama** jsou trvale měřeny ve vybraných bodech v okolí EDU pomocí terénní spektrometrie gama v intervalech daných monitorovacím programem. V současnosti jsou hodnoty aktivit ostatních umělých radionuklidů pod minimálně detekovatelnou aktivitou tohoto měření s výjimkou ^{137}Cs. Uváděné hodnoty aktivit ^{137}Cs jsou stanoveny pro plošnou distribuci tohoto radionuklidu na povrchu neobdělávané půdy. Příčinou zvýšených hodnot ^{137}Cs v letech 1989 - 2003 byla havárie na JE Černobyl. Vliv provozu EDU nebyl za celé sledované období 1989 - 2014 zaznamenán.

Zemědělské plodiny jsou odebírány ve vybraných profilech v okolí EDU v intervalech daných monitorovacím programem. V zemědělských plodinách je sledován obsah aktivačních a štěpných produktů metodou polovodičové spektrometrie gama a obsah stroncia metodou spektrometrie beta. V zemědělských plodinách jsou měřeny v současnosti pouze radionuklidy ^{90}Sr a ^{137}Cs, které pocházejí z globálního spadu. Příčinou zvýšených hodnot umělých radionuklidů (^{90}Sr, ^{134}Cs, ^{137}Cs) v roce 1986 byla havárie na JE Černobyl. Vliv provozu EDU nebyl za celé sledované období 1984 - 2014 zaznamenán.

Ryby jsou odebírány ve vybraných profilech v okolí EDU v intervalech daných monitorovacím programem. V rybách je sledován obsah aktivačních a štěpných produktů metodou polovodičové spektrometrie gama. V rybách je měřen v současnosti

pouze radionuklid ^{137}Cs, který pochází z globálního spadu. Příčinou zvýšených hodnot umělých radionuklidů (^{134}Cs, ^{137}Cs) v roce 1986 byla havárie na JE Černobyl. Vliv provozu EDU nebyl za celé sledované období 1984 - 2002 zaznamenán. Od roku 2003 do 2011 se aktivita umělých radionuklidů v rybách nestanovovala. Od roku 2012 se v rybách opět stanovuje aktivita umělých radionuklidů. Vliv provozu EDU nebyl za celé sledované období 2012 - 2014 zaznamenán.

Sedimenty jsou odebírány ve vybraných profilech v okolí EDU v intervalech daných monitorovacím programem. V sedimentech je sledován obsah aktivačních a štěpných produktů metodou polovodičové spektrometrie gama. Příčinou zvýšených hodnot umělých radionuklidů (^{95}Nb, ^{103}Ru, ^{134}Cs, ^{137}Cs) v roce 1986 byla havárie na JE Černobyl. Ve vzorcích sedimentů z okolí je měřitelné z umělých radionuklidů pouze ^{137}Cs, které pochází z globálního spadu. Vliv provozu EDU nebyl za celé sledované období 1984 - 2014 zaznamenán.

Půdy jsou odebírány ve vybraných profilech v okolí EDU v intervalech daných monitorovacím programem. V půdách je sledován obsah aktivačních a štěpných produktů metodou polovodičové spektrometrie gama. V půdách je měřen v současnosti pouze radionuklid ^{137}Cs, který pochází z globálního spadu. Příčinou zvýšených hodnot umělých radionuklidů (^{103}Ru, ^{134}Cs, ^{137}Cs) v roce 1986 byla havárie na JE Černobyl. Vliv provozu EDU nebyl za celé sledované období 1984- 2014 zaznamenán.

12.5.3 Osobní dozimetrická kontrola

Osobní dozimetrická kontrola (ODK) je v EDU součástí systému radiační kontroly. Hlavním cílem ODK je sledování a evidence úrovně ozáření všech osob vstupujících do kontrolovaného pásma EDU. Všichni pracovníci, pracující trvale nebo periodicky v kontrolovaném pásmu EDU, jsou zařazení jako radiační pracovníci kategorie A. Do kontrolovaného pásma EDU mohou za určitých definovaných podmínek vstupovat také neradiační pracovníci. Sledování ozáření osob spočívá v monitorování zevního ozáření a monitorování vnitřní kontaminace.

Výstupem osobního monitorování je přehled, který v návaznosti na vyhlášku SÚJB 307/2002 Sb. o radiační ochraně:

- Úvazek efektivní dávky.
- Efektivní dávku.
- Součet efektivní dávky od počátku kalendářního roku.
- Ekvivalentní dávku na končetiny.
- Součet ekvivalentní dávky na končetiny od počátku kalendářního roku.
- Roční kredit - hodnota efektivní dávky, kterou lze čerpat do naplnění zásahové úrovně.

V případě, že pracovník překročil nebo hrozí překročení zásahové úrovně dle programu monitorování osob, je mu zakázán další vstup do kontrolovaného pásma EDU.

12.5.3.1 Monitorování zevního ozáření od záření gama

Základní monitorování se provádí pomocí systému elektronické osobní dozimetrie. Tento systém umožňuje:

- Průběžné zobrazení hodnoty dávkového příkonu záření gama
- Průběžné zobrazení obdržené dávky při pracovní činnosti
- Okamžitou optickou a akustickou signalizaci překročení nastavených signálních úrovní

Operativní měření dávek personálu EDU, jejich vyhodnocení a následnou analýzu zajišťuje 16 terminálů, 4 administrátorské stanice a server systému propojených sítí radiační kontroly. Na serveru systému je instalována databáze, která archivuje veškerá data systému elektronické osobní dozimetrie. Tato data je možné spravovat z administrátorských stanic systému, které dále umožňují sledovat stav jednotlivých

terminálů a dálkově je konfigurovat. Pomocí terminálů je řízen proces vstupu/výstupu osob z/do kontrolovaného pásma s elektronickými osobními dozimetry. Při výstupu z kontrolovaného pásma terminály zaznamenají a vyhodnotí údaje z elektronického osobního dozimetru a následně přenesou na server záznam o pobytu osoby v kontrolovaném pásmu. Systém je projektován jako rozšiřitelný o další terminály pro místa se zvýšenou průchodností osob.

Základní povinností každého pracovníka při vstupu do kontrolovaného pásma je vyzvednutí elektronického osobního dozimetru z příslušného boxu na vstupu a jeho aktivace v příslušném terminálu elektronické dozimetrie. Dále je pracovník povinen aktivovaný elektronický osobní dozimetr připevnit na referenční místo na pracovním oděvu. Při odchodu z kontrolovaného pásma je pracovník povinen vyhodnotit elektronický osobní dozimetr v terminálu, kde dojde zároveň ke kontrole jeho kontaminace. Při výstupu osoby z kontrolovaného pásma se na terminálu zobrazí informace o čerpané dávce na pobyt, čerpané roční efektivní dávce a čerpané pětileté efektivní dávce.

12.5.3.2 Monitorování zevního ozáření od neutronů

Základní monitorování celotělového ozáření od neutronů je prováděno dozimetrem neutronů albedo TLD/LiF. Tento dozimetr je určen pro pracovníky, provádějící činnosti v polích neutronového záření. Jedná se o prostory při provozu bloku na výkonu (zejména paluba hlavních cirkulačních čerpadel, případně box parogenerátorů), manipulace se zaplněnými kontejnery CASTOR, činnosti v skladu vyhořelého jaderného paliva, meziskladu vyhořelého jaderného paliva a práce s boroměry.

12.5.3.3 Monitorování končetin

Prstýnkový dozimetr TLD chipstrate je určen pro osobní monitorování ekvivalentní dávky pro končetiny - ruce. Dozimetr TLD chipstrate je nezbytně nutné nosit na prstu pod rukavicí s orientací měřícího elementu směrem k pracovní ploše. TLD-chipstrate se používají pro práce v prostředí s předpokládanou nebo změřenou stíratelnou aktivitou. TLD chipstrate a doplňkový náramkový dozimetr přidělují a referenční místo určují pracovníci radiační ochrany provozu při práci na „R“ příkaz podle závažnosti radiační situace v místě práce.

12.5.3.4 Monitorování vnitřní kontaminace

Pro měření vnitřní kontaminace jsou užívány následující metody:

- Rychlé orientační stanovení vnitřní kontaminace na zařízení FastScan.
- Stanovení vnitřní kontaminace pomocí celotělového počítače.
- Měření radiojodu ve štítné žláze.
- Měření exkretů pomocí polovodičové spektrometrie gama.
- Měření tritia v moči pomocí kapalinové scintilační spektrometrie.

Vedle těchto stanovení se dále pro zpřesnění okolností kontaminace mohou měřit aktivity dalších typů vzorků, např. slin a tkání, tamponů s výtěry apod.

Zařízení **FastScan** slouží k rychlému orientačnímu stanovení vnitřní kontaminace radionuklidy emitujícími záření gama. Pro detekci záření se používají scintilační detektory. Zařízení sestává ze dvou základních částí: stíněné měřící komory s detektory, která je samostatně přístupná pro měřené osoby a z vyhodnocovací elektroniky včetně PC umístěné v místnosti obsluhy.

Cílem rychlého orientačního stanovení vnitřní kontaminace na zařízení FastScan je třídění pracovníků na pravděpodobně kontaminované, kteří budou podrobeni dalšímu selektivnímu monitorování vnitřní kontaminace a na nekontaminované. Výběr pracovníků pro rychlé orientační měření je následující:

- Všichni pracovníci vstupující do kontrolovaného pásma minimálně 1x ročně.
- Vybraní pracovníci pracovníků podle jejich činností v kontrolovaném pásmu.

- Pokud pracovník při činnosti v kontrolovaném pásmu použil ochranu dýchacích cest.
- Při podezření na vnitřní kontaminaci (při neodstranitelné povrchové kontaminaci nebo kontaminaci v obličeji).
- Na žádost pracovníka nebo jeho nadřízeného.
- Před zahájením prací v kontrolovaném pásmu, pokud pracovník dříve pracoval se zdroji ionizujícího záření, nebo v kontrolovaném pásmu jiného držitele povolení.

Celotělový počítač slouží k přesnějšímu stanovení vnitřní kontaminace radionuklidy emitujícími záření gama (^{51}Cr, ^{54}Mn, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{95}Zr, ^{95}Nb, ^{106}Ru, ^{110}Ag, ^{124}Sb, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{144}Ce). Pro detekci záření se používá polovodičový detektor umístěný ve stínící kobce. Polovodičový detektor je trvale chlazen tekutým dusíkem v Dewarově nádobě spojené s detektorem. Signál z detektoru je zpracováván elektronickými moduly umístěnými v napájecí skříni elektroniky vedle stínící kobky. Ovládaní zařízení se provádí prostřednictvím technologického PC v řídící místnosti celotělového počítače.

Měření na celotělovém počítači je prováděno u vybraných pracovníků, u kterých byla překročena dávka při orientačním stanovení vnitřní kontaminace na FastScan. Dále se používá pro měření pracovníků, kteří se nemohou na FastScan měřit (velikost postavy, klaustrofobie apod.), a pracovníků, u kterých se sleduje pokles vnitřní kontaminace po předchozím příjmu.

13 Provozní hlediska

Organizace a řízení jaderné organizace vychází ze základní premisy, stanovené v dokumentu IAEA SSR-2/2 Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation (2011):

„Organizace provozovatele má primární odpovědnost za bezpečnost provozu jaderné elektrárny".

Dokument stanovuje kromě základní premisy i celou řadu obecných zásad pro provozování jaderné elektrárny. Tyto zásady jsou rozpracovány do místních řídicích dokumentů, organizační struktury a nastavení pravidel pro řízení a vychází z nich celý systém provozování EDU (stejně jako JE Temelín).

13.1 Organizační struktura provozovatele

Jaderná elektrárna Dukovany je organizačně začleněna jako součást Divize výroba společnosti ČEZ, a.s. Činnosti, zajišťované společností ČEZ, a.s., jsou definovány modelem řízení společnosti. Model je složen ze základních oblastí řízení. Základní oblasti řízení jsou dále členěny na oblasti řízení. Oblasti řízení jsou členěny na procesy.

Procesní struktura je tedy řízena jako ucelený soubor procesů, které jsou orientovány na výsledek, tedy na přidanou hodnotu, kterou přinesou zákazníkovi při zajištění vysoké úrovně bezpečnosti. Hlavní procesy divize výroba jsou definovány v základní oblasti řízení **Výroba**. Pro zajištění průběhu vykonávaných procesů je vytvořena hierarchická organizační struktura útvarů, v nichž jsou systemizována jednotlivá pracovní místa.

13.1.1 Zásady procesního řízení Divize výroba

Procesy jsou členěny do logických a na sebe navazujících činností tak, aby byla jasná přidaná hodnota, vznikající v průběhu procesu[26]. Pro vlastní řízení procesů jsou použity tyto zásady:

- Činnosti jsou vykonávány procesním týmem tam, kde je to nejefektivnější, bez ohledu na hranice hierarchicky členěných organizačních útvarů.
- Motivace procesního týmu je závislá na výsledcích jeho práce (přidané hodnotě a výstupech z procesu), nikoli na vykonávaných činnostech.
- Práva a povinnosti jsou přesunuty co nejblíže skutečnému místu vykonávané práce.
- Procesy mají jasně definované ukazatele výstupu, kde prioritu má bezpečnostní aspekt – KPI (key performance indicators).
- Požadovaný KPI definuje zákazník (příjemce výstupu z procesu) na základě dojednání s garantem procesu.

Za nastavení správné struktury oblastí řízení a vnitřních procesů jsou odpovědní garanti oblastí řízení, za správnost nastavení jednotlivých procesů pak garanti procesů. Garanti oblastí řízení pak odpovídají za návaznosti a koordinaci procesů uvnitř své oblasti řízení i navenek – tedy vůči ostatním oblastem řízení. Procesní struktura je nastavena prostřednictvím interní řídicí dokumentace.

Základními odpovědnostmi garantů oblastí řízení a garantů procesů jsou tedy:

- Nastavení výstupu procesu v souladu s potřebou zákazníka procesu (zpravidla procesu navazujícího).
- Úplné a efektivní nastavení průběhu procesu, včetně stanovení měřitelných ukazatelů výstupu procesu (KPI).
- Správnost, úplnost a aktuálnost řídicí dokumentace garantovaného procesu.

[26] Procesy mohou mít variantní provedení. Varianty mohou být použity dle požadavků na jakost výstupu či dle složitosti požadovaného výstupu.

Pro převzetí odpovědnosti za jednotlivé procesy mají garanti pravomoc nastavit a zdokumentovat základní oblast řízení, oblast řízení či proces, stanovit ukazatele pro hodnocení, zavést (proces, činnosti) do praxe, sledovat efekt a účinek průběhu procesu v praxi, kontrolovat a zlepšovat jednotlivé procesy a vazby a ověřovat soulad s všeobecně platnými právními předpisy.

Jednotlivé oblasti řízení a procesy jsou vzájemně provázány přes rozhraní, která jsou definována produkty, poskytovanými jednou oblastí řízení (procesem) pro druhou oblast řízení (proces). Na těchto rozhraních se využívá principu zákazníka a dodavatele (vnitřního i vnějšího). Odpovědnost za stav nastavených rozhraní mají příslušní garanti.

13.1.2 Nastavení organizační struktury

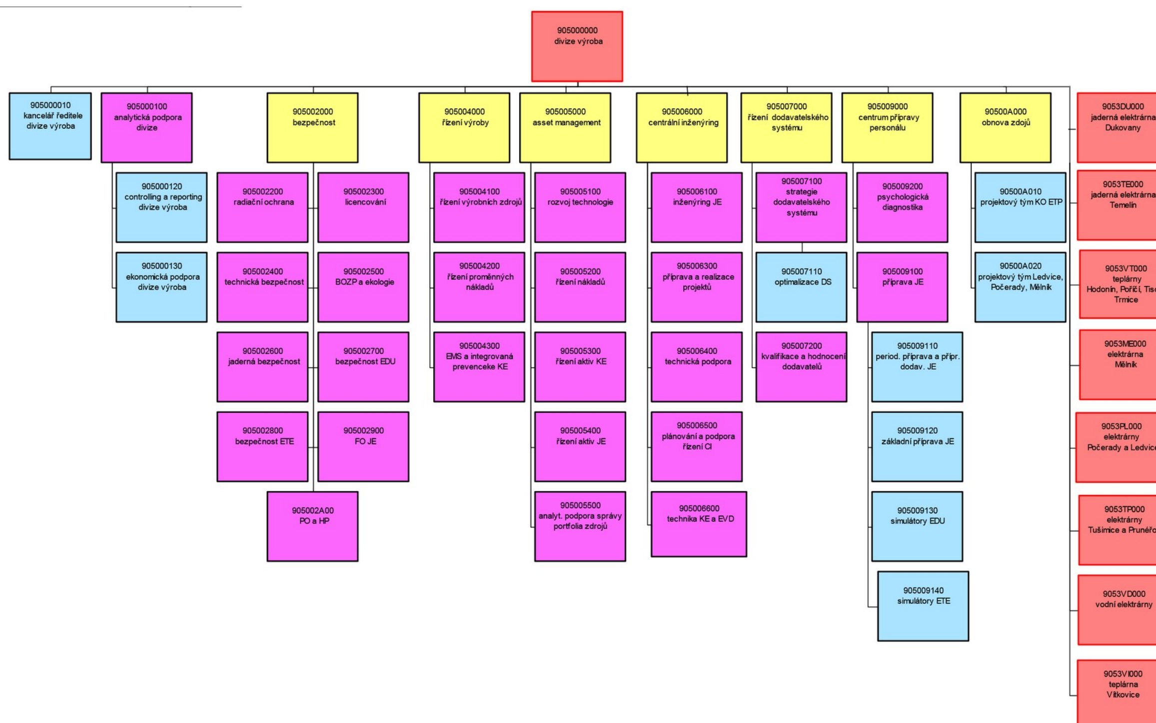
Organizační struktura je uspořádání útvarů společnosti ČEZ, a. s. s vyznačením názvů útvarů, jejich nadřízenosti a podřízenosti. Podřízenost je ve vertikální linii útvarů organizační struktury definována na 4 úrovně řízení, přičemž nejvyšší úroveň (D) je pozice ředitele divize výroba (člen představenstva společnosti v roli CNO – Chief Nuclear Officer). Další hierarchické stupně řízení jsou od této pozice odvozeny jako D – 1 (ředitelé útvarů), D -2 (manažeři útvaru) a D – 3 (vedoucí útvaru).

Jaderná elektrárna je pak řízena ředitelem elektrárny (úroveň D – 1), vedoucími odboru (D – 2) a vedoucími oddělení (D – 3).

Každé pracovní místo na úrovni ředitelů nebo manažerů útvarů v organizační struktuře divize výroba je vybaveno pravomocí a odpovědností, které jsou definovány v interní řídicí dokumentaci společnosti. Pravomoci a odpovědnosti ostatních pracovních míst jsou stanoveny příslušnými popisy pracovních míst, případně dalšími pracovními dokumenty.

13.1.3 Základní kompetence jednotlivých centrálních útvarů

Divize výroba slouží k organizaci a řízení všech typů elektráren v ČEZ, a. s., tedy včetně uhelných a vodních. V následujících podkapitolách jsou proto uvedeny pouze takové kompetence jednotlivých útvarů, které mají souvislost s provozem JE Dukovany a mohou ovlivnit bezpečnost provozu. Rovněž tak útvary, které nemají s provozem JE Dukovany žádnou souvislost, nejsou dále popisovány.



Obr. 136. Organizační struktura divize výroba (ČEZ prosím doplnit lepší obrázek)

13.1.3.1 Ředitel divize výroba

Ředitel divize výroba je garantem základní oblasti řízení Výroba. Je členem představenstva ČEZ, a. s. a vykonává pozici CNO (Chief Nuclear Officer). Má za povinnost zajistit řízení a dodržování požadavků bezpečnosti a ochrany, tj. jaderné bezpečnosti, havarijní připravenosti, radiační ochrany, fyzické ochrany, informační bezpečnosti, požární ochrany, bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, technické bezpečnosti a ochrany životního prostředí, v rámci celé divize výroba. Odpovídá za hodnocení a trvalé zlepšování organizace divize pro dosažení vyšší efektivity řízených procesů při vynaložení optimálních nákladů, zajištění vysoké kvality řízení a jakosti všech prováděných činností. Má rovněž za povinnost zajištění správy přiděleného majetku včetně JE Dukovany.

Ředitel divize výroba dále zajišťuje bezpečné a efektivní využití a rozvoj výrobních aktiv segmentu výroba při výrobě elektrické energie a poskytování podpůrných služeb, stejně jako při výrobě a distribuci tepla v souladu s ročním, podnikatelským a strategickým plánem společnosti, s ohledem na maximalizaci ekonomických přínosů společnosti, při dodržení zákonných požadavků, bezpečnostních požadavků a zajištění akceptovatelnosti veřejností.

Ředitel divize výroba dále odpovídá za plnění požadavků obecně závazných právních předpisů týkajících se využívání jaderné energie a ionizujícího záření, především zákona č.18/1997 Sb. (Atomový zákon). Má povinnost zajistit dohled nad činnostmi, důležitými z hlediska jaderné bezpečnosti, technické bezpečnosti, fyzické ochrany a havarijní připravenosti a radiační ochrany v rámci celé společnosti ČEZ, a. s. V rámci divize výroba má povinnost zajistit efektivitu a účinnost systému jakosti vzhledem ke stanoveným požadavkům vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb.

13.1.3.2 Útvar bezpečnost

Posláním útvaru bezpečnost je nastavení a trvalé zlepšování systému řízení bezpečnosti v rámci segmentového centra řízení bezpečnosti – divize výroba. Provádí to

prostřednictvím bezpečnostních standardů a řízením bezpečnostních rizik (poškození zdraví osob nebo životního prostředí) tak, aby byla omezena na přijatelnou úroveň.

Ředitel útvaru bezpečnost odpovídá za stanovení bezpečnostních zásad, pravidel a požadavků pro vybrané procesy a oblasti činností (provoz, údržba, projekt, kvalifikace personálu, nákup, dodavatelé, odpady atd.), dále za seznam pracovních činností, důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti, včetně požadované kvalifikace pracovníků, tyto činnosti vykonávajících.

Z pohledu dohledu nad zajištěním bezpečnosti odpovídá za soustavný dohled nad jadernou bezpečností radiační ochranou, havarijní připraveností, fyzickou ochranou jaderných zařízení a materiálů, technickou bezpečností (vše ve smyslu § 18 odst. 1, písm. i) zákona č.18/1997 Sb.), požární ochranou, bezpečností a ochranou zdraví při práci a životním prostředím. Zajišťuje výkon činnosti dohlížejícího pracovníka nad radiační ochranou, výkon odborně způsobilých osob v prevenci rizik a koordinátorů bezpečnosti a ochrany zdraví při práci na staveništích.

V oblasti licencí odpovídá za zajišťování a udržování licencí a povolení dozorných orgánů, potřebných pro provoz zdrojů, licenční dokumentaci pro získávání provozních povolení jaderných elektráren (limity a podmínky, programy provozních kontrol, programy monitorování, výcvikové programy, povolení k vypouštění do ovzduší a vod atd.) a stanovuje pravidla pro komunikaci s orgány státní správy v oblasti využívání jaderné energie a ionizujícího záření pro všechny útvary ČEZ, a. s.

Ředitel útvaru bezpečnost může iniciovat zastavení činností, které ohrožují bezpečnost provozu a zdraví lidí, do doby přijetí potřebných odpovídajících opatření.

13.1.3.3 Útvar řízení výroby

Posláním útvaru řízení výroby je řídit skladbu a nasazení výrobních zdrojů divize výroba podle požadavků divize obchod a strategie na pohotový výkon tak, aby byl prodejem dodané elektrické energie, a tepla a podpůrných služeb maximalizován zisk společnosti. Dále řídí účinnost, proměnné náklady a emise výroben a dodávky paliva a sorbentů, včetně jejich přepravy.

13.1.3.4 Útvar asset management

Posláním útvaru asset management je maximalizace hodnoty a využití portfolia aktiv (výrobních zdrojů divize výroba), a to prostřednictvím koncepcí rozvoje elektráren v jednotlivých lokalitách. Útvar řídí technický stav majetku elektráren k zajištění požadované disponibility prostřednictvím technických standardů, koncepčním řízením rizik a stanovováním finančních limitů. Zajišťuje bezpečnost při správě portfolia aktiv, s důrazem na bezpečný provoz jaderných zařízení.

Ředitel útvaru asset management odpovídá za dlouhodobou koncepci využití výrobních zdrojů včetně jaderných, v rámci předpokládané doby životnosti těchto aktiv v jednotlivých lokalitách, včetně ekonomického hodnocení.

V oblasti péče o zařízení odpovídá za nastavení pravidel péče o majetek a řízení spolehlivosti zařízení. Kontroluje rovněž jejich dodržování dle schválené dlouhodobé koncepce rozvoje elektráren.

13.1.3.5 Útvar centrální inženýring

Posláním útvaru centrální inženýring je zabezpečení technických, technologických a inženýrských činností pro bezpečné, spolehlivé a ekonomické provozování, udržování a rozvoj elektráren divize výroba a souvisejících technologií.

Ředitel útvaru centrální inženýring je odpovědný za nastavení systému správy projektu jaderných elektráren, projektových dat a integrity projektu (vykonává funkci Design Authority), dále za správu projektové a technické dokumentace včetně zajišťování průkazné dokumentace, technických analýz a výpočtů pro licenční řízení. Je

rovněž odpovědný za pravidla řízení konfigurace jaderných elektráren, hodnocení aktuálního stavu zařízení vůči projektovým požadavkům a shodu skutečnosti s dokumentací skutečného provedení.

V oblasti modifikací zařízení odpovídá ředitel útvaru centrální inženýring za analýzy a návrhy technických řešení rizik a za přípravu a realizaci jednotlivých jmenovitých akcí (zpravidla investic), které tato rizika eliminují.

13.1.3.6 Útvar řízení dodavatelského systému

Posláním útvaru řízení dodavatelského systému je nastavení, hodnocení a optimalizace dodavatelského systému údržby prostřednictvím odborně způsobilých a nákladově optimálních dodavatelských výkonů na zařízení elektráren divize výroba tak, aby byla zajištěna požadovaná efektivita, stabilita, dostupnost, jakost, bezpečnost a garance realizačních činností. Útvar definuje strategii pro dodavatelský systém z pohledu maximalizace efektu v rámci Skupiny ČEZ.

Ředitel útvaru řízení dodavatelského systému je odpovědný za optimalizaci smluvního zajištění dodavatelského systému údržby (spolu s útvarem nákup) a koordinaci dlouhodobých smluv včetně hodnocení výkonu dodavatelských činností. Odpovídá rovněž za požadavky na technickou a profesní část kvalifikační dokumentace, požadavky na jakost a systémy řízení dodavatelů, systém požadavků na odbornou způsobilost dodavatelů pro výkon činností, ověřování shody, odběratelské kontroly a zákaznické audity.

13.1.3.7 Útvar centrum přípravy personálu

Posláním útvaru centra přípravy personálu je zabezpečení školení a výcviku pro činnosti, důležité z hlediska jaderné kvalifikace a dosažení potřebných dovedností personálu formou základní a periodické přípravy, výcvikem na simulátorech a školením dodavatelů jaderných elektráren. Dále provádí ověřování psychické způsobilosti a psychických předpokladů personálu a psychologickou podporu v projektech, zvyšujících bezpečnost a spolehlivost lidských zdrojů v ČEZ, a. s., Skupiny ČEZ a dodavatelů.

Ředitel centra přípravy personálu odpovídá za koncepci rozvoje přípravy personálu v oblasti jaderných aktivit v souladu s potřebami a požadavky interního zákazníka, platnou legislativou a mezinárodními doporučeními. Dále odpovídá za nastavení kvalifikací, včetně způsobu jejich získávání a ověřování pro výkon činností zaměstnanců ČEZ, a. s., v oblasti jaderných aktivit, základní a periodickou přípravu zaměstnanců ČEZ, a. s., k zajištění specifické způsobilosti pro výkon činností v oblasti jaderných aktivit, základní a periodickou přípravu zaměstnanců dodavatelů samostatně vstupujících a pohybujících se ve střeženém prostoru JE a za simulátorový výcvik zaměstnanců ČEZ, a. s., bezprostředně ovlivňujících svou činností jadernou bezpečnost jaderných elektráren.

Odpovídá za získání a udržení platnosti povolení SÚJB k odborné přípravě vybraných pracovníků dle zákona č. 18/1997 Sb. (Atomový zákon).

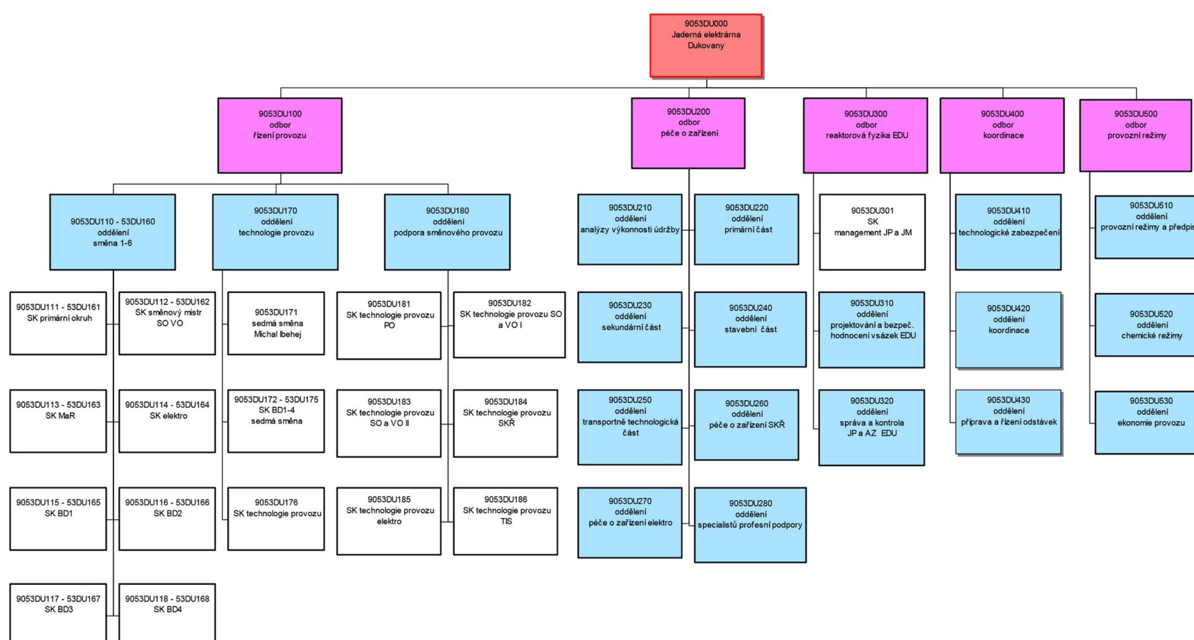
13.1.4 Poslání a organizace JE Dukovany

Posláním JE Dukovany je zajištění bezpečné, spolehlivé a efektivní výroby elektrické energie a tepla v souladu s koncepcí lokality, střednědobým zadáním a ročním plánem, při dodržení bezpečnostních, ekonomických a technických standardů a zákonných požadavků.

Pro zajištění efektivity řízení jsou některé útvary řízeny centrálně jako společné pro všechny organizační jednotky (elektrárny) a zajišťují průřezové činnosti nebo metodickou podporu (viz kap.13.1.3). Pracovníci těchto útvarů jsou dislokováni buď přímo v lokalitách elektráren, nebo v centrále společnosti. V rámci organizační jednotky - elektrárny jsou pak zřízeny následující odbory:

- Odbor řízení provozu.

- Odbor péče o zařízení.
- Odbor koordinace.
- Odbor reaktorová fyzika EDU.
- Odbor provozní režimy.



Obr. 137. Organizační schéma JE Dukovany (prosím ČEZ aktualizovat)

13.1.5 Organizace provozu JE Dukovany

Provoz jaderné elektrárny začíná zahájením aktivního spouštění prvního bloku a probíhá nepřetržitě až do úplného vyvezení veškerého jaderného paliva mimo JE za účelem dlouhodobého nebo trvalého odstavení JE. Okamžitý provoz jednotlivých technologických systémů je určen konkrétním provozním režimem jaderné elektrárny v rámci limitů a podmínek (LaP), provozních předpisů a ostatní platné dokumentace. Odchylky od tohoto principu musí být doloženy konkrétním řešením v daném systému.

13.1.5.1 Zásady provozu JE Dukovany

Řídící, kontrolní a obslužné činnosti (provozování) na provozovaném zařízení mohou vykonávat pouze zaměstnanci, kteří jsou k této činnosti určeni, mají odpovídající kvalifikaci a převzatou odpovědnost prostřednictvím provozního deníku obslužného místa.

Zaměstnanci provozující zařízení musí být řádně vyškoleni v souladu s požadavky na danou obslužnou funkci, jejich kvalifikace musí být trvale udržována a zvyšována systémem školení a výcviku v souladu se stanovenými kvalifikačními předpoklady a příslušnou řídící dokumentací. Jejich profesionální znalosti a schopnosti musí být periodicky prověřovány a výsledky takových prověrek dokumentovány.

Způsob řízení provozu, monitorování provozu, obsazení řídících a obslužných funkcí, jejich pravomoci a odpovědnosti ve všech režimech normálního (DiD 1) a abnormálního (DiD 2) provozu i v průběhu mimořádných situací jsou na JE Dukovany stanoveny v místním provozním předpisu. Řešení neobvyklých a mimořádných událostí je prováděno v souladu s dokumentací havarijní připravenosti (DiD 1 až DiD 5) a schválenými provozními předpisy pro abnormální (DiD 2) a havarijní stavy (DiD 3 a DiD 4).

Všechny činnosti musí být prováděny dle schválené provozní dokumentace a limit a podmínek (viz kap. Error: Reference source not found). Činnosti jsou vykonávány v souladu s harmonogramy činností, se schváleným denním plánem provozu JE Dukovany, ve vztahu k elektrizační soustavě ČR pak dispečerským řízením dle místních provozních předpisů, operativním řízením ve směně a platnou řídící dokumentací.

Pokud dojde k neshodě provozního předpisu se stavem zařízení, musí být tato skutečnost reflektována na JE Dukovany schválenou provozní instrukcí, platnou do doby zapracování do revize provozního předpisu nebo odstranění neshody.

Jednorázové a nestandardní činnosti nad rámec provozních předpisů musí být popsány schváleným jednorázovým dokumentem, operativním programem.

13.1.5.2 Provozní personál a organizace směny

Přítomnost osob, vykonávajících činnosti, mající bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany vymezené ve vyhlášce SÚJB č. 146/1997 Sb. na každé směně je dána platnými limitami a podmínkami (viz kap. Error: Reference source not found).

Od okamžiku zavážky prvního palivového souboru do reaktoru musí být v režimech 1 - 5 (dle limit a podmínek) na blokové dozorně trvale přítomni vybraní pracovníci s oprávněním k manipulaci na reaktoru a primárním okruhu, tedy vedoucí reaktorového bloku (VRB), operátor primárního okruhu (OPO) někdy nazýván rovněž operátor reaktoru (OR) nebo operátor bloku (OB) a dále operátor sekundárního okruhu (OSO, případně rovněž OB)[27]. Přímo v operativní části blokové dozorny se musí vždy nacházet minimálně dva z těchto tří pracovníků.

V režimech výměny paliva nebo vyvezení paliva pro kontrolu tlakové nádoby reaktoru tj. v režimech 6 - 7 (dle limit a podmínek) musí být na blokové dozorně minimálně buď vedoucí reaktorového bloku, nebo operátor primárního okruhu a dále operátor sekundárního okruhu. V odůvodněných případech (zdravotní indispozice) může bezpečnostní inženýr (BI), případně směnový inženýr (SI), na potřebnou dobu zastoupit VRB, OPO i OSO. Zaměstnanec s platným oprávněním VRB může na potřebnou dobu zastoupit zaměstnance s oprávněním pro řízení provozu primárního okruhu (OPO) nebo sekundárního okruhu (OSO).

JE Dukovany je výrobní jednotkou s nepřetržitým provozem a se šesti základními směnami, které se pravidelně střídají na směnách dle stanoveného harmonogramu. Dále je ustavena tzv. „sedmá směna“, která slouží k vykrývání záskoků standardních směn a posílení provozního personálu v případě předpokladu zvýšeného rozsahu prací na směně (odstavování nebo náběh bloku, nestandardní zkoušky atd.). Platný pracovní režim pro všechny pracovníky v nepřetržitém provozu je 36 hodin v kalendářním týdnu.

Po delší nepřítomnosti pracovníka na funkci SI, VRB, OPO a OSO (platí i pro OB, který vykonává některou z funkcí OPO nebo OSO) je povinností tzv. dublování na směně. Důvodem dublování je nutnost delšího časového prostoru (než je při předávání směny) na

- Pročtení provozního deníku od poslední směny, kdy byl dotyčný přítomen.
- Prokazatelné seznámení se s novými závadami, respektive odchylkami od provozu a provozními instrukcemi.
- Prokazatelné seznámení se s novými revizemi řídící dokumentace.
- Prokazatelné seznámení se změnami místních provozních předpisů
- Seznámení se s informacemi v denních plánech provozu za uplynulá období a dále s korespondencí předanou na směnu prostřednictvím přílohy denního plánu provozu (DPP).
- Celkové zorientování se na pracovišti (např. po dovolené nebo nemoci).

[27] Operátor bloku je osoba, která má oprávnění k manipulaci jak na reaktoru a primárním okruhu, tak na sekundárním okruhu. Nejedná se o funkční místo ale o kvalifikační stupeň.

Délka dublování je stanovena v závislosti na délce nepřítomnosti na pracovišti (nemoc, řádná dovolená atd.) takto[28]:

- Při nepřítomnosti na pracovišti 7 a méně dní není povinnost dublovat.
- Při nepřítomnosti na pracovišti 8 až 14 dní musí zaměstnanec dublovat 4 hodiny.
- Při nepřítomnosti na pracovišti 15 dní a více musí zaměstnanec dublovat 8 hodin (jednu směnu).
- Při přechodu zaměstnance na jiný reaktorový blok musí pracovník dublovat minimálně 3 směny.

V odůvodněných případech (např. stabilní provoz bloku) může přímý nadřízený zkrátit délku dublování nebo povolit převzetí směny bez dublování. Pokud je povoleno dublování kratší nebo převzetí směny bez dublování, je v deníku přímého nadřízeného proveden zápis se zdůvodněním.

13.1.5.3 Základní odpovědnosti směnových pracovníků

Nejvyšším vedoucím směny JE Dukovany je směnový inženýr (SI). Je organizačně podřízen vedoucímu odboru řízení provozu. Z hlediska výroby elektřiny je operativně podřízen dispečerovi přenosové soustavy a dispečinku ČEZ, a. s.

SI zastupuje ve všední dny na odpoledních a nočních směnách a na směnách o sobotách a nedělích, případně ve státem uznaných svátcích ředitele JE Dukovany v těchto oblastech:

- Ochrana a obrana objektů
- Řízení a organizace chodu JE Dukovany při mimořádných událostech až do doby zahájení činnosti velitele směnového havarijního štábu a jeho převzetí řízení mimořádné události.

SI je přímo organizačně i operativně nadřízen všem vedoucím reaktorového bloku a směnovým mistrům na směně. Operativně je SI nadřízen všem pracovníkům, kteří na směně vykonávají své funkce, tedy především:

- Bezpečnostnímu inženýrovi (BI).
- Směnovému dispečerovi údržby (SDi).
- Provoznímu resp. kontrolnímu fyzikovi.
- Směně oddělení chemické kontroly.
- Směně radiační kontroly.
- Pracovníkům diagnostiky na směně.
- Směně fyzické ochrany JE Dukovany.
- Řidiči hotovostního vozidla.
- Veliteli čety hasičského záchranného sboru JE Dukovany.
- Směně transportně technických činností.
- Směně zpracování RA odpadů.

Pokud SI nemůže dočasně řídit provoz (indispozice, vzdálení se ze střeženého prostoru JE za účelem kontroly apod.), zastupuje ho v oblasti řízení stavů technologie JE Dukovany a v oblasti řešení vzniku mimořádné události na pracovní směně bezpečnostní inženýr. Další posloupnost zastupování SI je VRB 1, VRB3, VRB2 a VRB4. O této situaci musí být předem nebo ihned po vzniku situace informováni všichni vedoucí zaměstnanci ve směně a v případě vzniku mimořádné události velitel směnového havarijního štábu.

Vedoucí reaktorového bloku (VRB) je vedoucím zaměstnancem, řídícím provozu technologických zařízení a systémů příslušného bloku. Je organizačně nadřízen operátorovi primárního okruhu a operátorovi sekundárního okruhu. Dále je operativně nadřízen (při řešení blokových záležitostí) směnovým mistrům a ostatním směnovým pracovníkům příslušného bloku. Při kolizi příkazů řeší situaci SI.

[28] Při nemožnosti výkonu funkce déle než 3 měsíce (nemoc, služební cesta apod.) je zaměstnanci stanoven individuální program dublování, který mimo jiné musí obsahovat opakovací výcvik na simulátoru, případně (při nemožnosti výkonu funkce déle než 6 měsíců) opakování státní zkoušky na obnovení Oprávnění a Pověření.

Operátor primárního okruhu (OPO) je operativním řídícím provozu reaktoru, primárního okruhu a jeho pomocných systémů příslušného bloku. OPO je organizačně a operativně podřízen VRB. OPO je oprávněn vydávat se souhlasem VRB příkazy směnovému mistrovi primárního okruhu a obslužnému personálu primárního okruhu daného bloku. Dále pak obslužnému personálu elektro, měření a regulace a chemie. OPO zastupuje VRB v době jeho nepřítomnosti na blokové dozorně (kontrolní činnost v kontrolovaném pásmu v režimech 6 a 7).

Operátor sekundárního okruhu (OSO) je operativním řídícím provozu sekundárního okruhu a jeho pomocných systémů příslušného bloku. OSO je organizačně a operativně podřízen VRB. OSO je oprávněn vydávat se souhlasem VRB příkazy směnovému mistrovi sekundárního okruhu a venkovních objektů, dále pak obslužnému personálu sekundárního okruhu včetně venkovních objektů daného bloku a obslužnému personálu elektro, měření a regulace a chemie.

Směnový mistr (SM) příslušné odbornosti je vedoucí zaměstnanec směnového provozu s odpovědností za odborné vedení, pracovní kázeň vedeného kolektivu zaměstnanců a provoz zařízení v rozsahu určeném popisem pracovní funkce. Je organizačně přímo podřízen SI, operativně SI a VRB (v záležitostech, týkajících se příslušného bloku).

Provozní obsluha zařízení (POZ) je zaměstnanec, provádějící obslužné a kontrolní činnosti na provozovaném energetickém zařízení v rozsahu určeném popisem pracovní funkce. Tato činnost je pro jednotlivé funkce prováděna buď z dozorny, příslušné k obsluhovanému zařízení, z místa, případně kombinací obou uvedených způsobů.

Bezpečnostní inženýr (BI) vykonává nezávislý dozor nad složitými manipulacemi a činnostmi personálu blokových dozoren. Je organizačně začleněn do odboru provozních režimů a operativně je na směně podřízen SI. Je držitelem licence SI a na směně je prvním zástupcem SI. Ve směnovém provozu má specifické povinnosti a pravomoci dle popisu pracovní funkce, především:

- Provádí nezávislou kontrolu činností na směně, především kontrolu plnění limit a podmínek a místních provozních předpisů.
- Při vzniku mimořádné události nebo abnormálního stavu je součinnost a podřízenost SI, BI a personálu blokové dozorny popsána v místních provozních předpisech.
- V době náběhu bloku, odstavování bloku a při přechodových stavech je zpravidla jeho pracoviště příslušná bloková dozorna, kde působí v roli technické podpory personálu. V době náběhu a odstavování bloku vydává BI doporučení v případech nebezpečí narušení bezpečnosti, platné provozní dokumentace nebo legislativy. Tato doporučení jsou pro personál závazná a BI za ně plně zodpovídá (zápisem do provozního deníku směny). Doporučení personálu BI vydává s vědomím a se souhlasem VRB.
- Shromažďuje na směně near-miss události ze všech odborností, které pak předkládá na ranní operativní poradě provozu. Úzce se podílí na šetření událostí na směně.
- Je vedoucím vybraných testů, ve kterých je jako vedoucí testů stanoven. Příkazy BI týkající se provádění daného testu jsou pak závazné pro všechen personál, avšak příkazy musí vždy vydávat s vědomím a souhlasem VRB případně prostřednictvím VRB.

Kontrolní fyzik (KF) je zaměstnanec, zařazený do směn přechodně, obvykle po dobu výměny paliva nebo jiných manipulací s palivem a komponenty aktivní zóny. Pracovištěm KF je zavážecí stroj nebo reaktorový sál. KF vykonává kontrolní činnost podle provozních předpisů, příslušných programů testů (zkoušek) a řídící dokumentace. Požadavky na činnost zaměstnanců transportně technické čety uplatňuje přímo. KF je operativně podřízen SI, organizačně je začleněn do odboru reaktorová fyzika.

Provozní fyzik (PF) je zaměstnanec, zařazený do směn při každém plánovaném dosahování kritického stavu reaktoru. PF vykonává kontrolní a řídící činnost podle provozních předpisů, příslušných programů testů a řídící dokumentace. Pracovištěm PF je bloková dozorna. Pokud je PF zároveň vedoucím testu (zkoušky), uplatňuje požadavky

na činnost personálu blokové dozorny, směnových mistrů a obslužného personálu přes VRB (se souhlasem VRB může tyto požadavky uplatňovat přímo). PF je povinen projednat vždy s VRB všechny okolnosti, spojené se zahájením a provedením dané činnosti. PF je operativně podřízen SI, organizačně je začleněn do odboru reaktorová fyzika. Činnost obsluhy zařízení nestandardní aparatury, instalované pro testy spouštění, řídí PF přímo.

Směnový mistr radiační kontroly (SMRK) je vedoucí zaměstnanec, odpovědný za provádění radiační ochrany na směně a řízení směny radiační kontroly. V oblasti radiační ochrany jsou rozhodnutí SMRK závazná pro všechny pracovníky v kontrolovaném pásmu.

Směnový dispečer údržby (SDi) na směně operativně řídí činnosti ve vazbě na dodavatele dle popisu pracovního místa.

13.1.6 Organizace údržby JE Dukovany

Cílem údržby JE Dukovany je bezpečné a hospodárné zajišťování požadovaných funkcí zařízení a zajišťování činností, souvisejících s výkonem práv a povinností u svěřeného majetku, v souladu s provozní a projektovou dokumentací, se státní a mezinárodní legislativou a s doporučeními mezinárodních orgánů pro jadernou energetiku.

13.1.6.1 Zásady údržby JE Dukovany

Výkon péče o zařízení je založen na kombinaci výkonu správy jednoznačně definovaných systémů elektrárny a údržby jednotlivých profesně členěných skupin zařízení. Výkonné činnosti v údržbě jsou prováděny prostřednictvím dodavatelů, JE Dukovany tedy nemá vlastní údržbářský personál a vlastní pracovníci odboru péče o zařízení provádí řízení systému údržby a výkon správy majetku.

Řízení údržby zařízení je založeno na následujících hlavních atributech:

- Evidence zařízení.
- Monitorování stavu zařízení za provozu.
- Zajištění cyklu žádanek na práci a pracovních příkazů pro dodavatele.
- Programu údržby (včetně programu kontrol dle kap. 14.2).
- Programu řízeného stárnutí (dle kap. 13.4.5).
- Využití informačních systémů pro podporu údržby.

Evidence zařízení spočívá v označení a registraci zařízení v „Registru zařízení“, navedením nezbytných dat (identifikačních a technických, včetně uvedení vztahu k závazné legislativě) a jeho kategorizací. Kategorizace a označení komponent je provedeno dle požadavků potřeb údržby a státní legislativy. V registru zařízení jsou ke každé položce vedeny následující atributy:

- Vybraná zařízení dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. (tvoří seznam vybraného zařízení JE Dukovany)
- Zařízení vybraná speciálně navrhovaná (VZSN) dle vyhlášky SÚJB č. 309/2005 Sb.
- Vyhrazená zařízení dle vyhlášky ČÚBP č. 73/2010, 21/79 Sb. ve znění vyhlášky č 551, 552, 553, 554/90 Sb.
- Zařízení požárně bezpečnostní dle vyhlášky 246/2001 Sb.
- Stanovená měřidla dle zákona č. 505/1990 Sb.
- Zařízení podle limit a podmínek.
- Zařízení určená metodou PSA jako kritická.

Příslušné seznamy vybraných a vyhrazených zařízení jsou udržovány v informační systému údržby. Seznam vybraného zařízení dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. a Seznam zařízení dle vyhlášky SÚJB č. 309/2005 jsou udržovány i v tištěné formě. Registr zařízení je soustavně aktualizován a doplňován v souvislosti s prováděnými modifikacemi a změnami.

Program údržby představuje dokumentovatelný soubor činností údržby a kontrol technického stavu zařízení, předcházejících vzniku nesouladů, nebo vedoucích k odstranění diagnostikovaných nesouladů, které nejsou řešitelné změnou provozování a nevedou k iniciaci změny projektu. Stanovuje metody, cykly a rozsahy oprav zařízení v závislosti na jeho kategorizaci (viz kap. 13.4.4). Jeho parametry jsou pro jednotlivá zařízení nastavena v informačním systému řízení údržby.

Péče o zařízení je diferencovaná sestupně podle jeho kategorie. Zařízení je udržováno formou preventivní (zejména zařízení kategorie 1 a 2) nebo korektivní (převážně zařízení kategorie 3) údržby. Při preventivní údržbě jsou používány jak plánovaná údržba na základě stanovených cyklů, tak prediktivní údržba založená na diagnostice a sledování aktuálního stavu zařízení.

Nahodilá údržba je korektivní údržbou zařízení, která nejsou udržována plánovanou či prediktivní údržbou, a současně odstraňování nahodilých poruch na zařízení, udržovaného preventivní údržbou. Nahodilá údržba je zajišťována v rámci měsíčního a denního plánu práce a podle spěšnosti jsou zařazovány akce korektivní údržby do těchto plánů údržby daného zařízení. Akcím nahodilé údržby je dle závažnosti přiřazena příslušná spěšnost (spěšnost S1, S2, S3, S4, S5, S8), s jakou mají být realizovány.

Spěšnost požadavku stanoví obecně postup při přípravě, zadání a realizaci požadavku při uplatňování těchto variant:

- **S1**[29] - je uloženo zahájit přípravu, zadání a realizaci požadavku neprodleně s využitím všech dostupných (i mimořádných) opatření, a to i v případě narušení akcí, schválených v denním plánu.
- **S2** - je uloženo zahájit přípravu a zadání požadavku na nejbližší ranní směně tak, aby jeho realizace byla zahájena neprodleně po ukončení přípravných prací. Přípravné práce probíhají přednostně a bez odkladů, realizace probíhá přednostně před ostatními pracemi mimo prací na S1 a S8. Mimořádná opatření jsou v tomto případě předpokládána pouze v omezeném rozsahu.
- **S3** - je uloženo zahájit přípravu a zadání požadavku tak, aby jeho realizace byla zařazena do měsíčního plánu údržby, při respektování termínu stanoveného správcem zařízení.
- **S4** - je uloženo zahájit přípravu a zadání požadavku tak, aby jeho realizaci bylo možno kdykoliv zařadit do měsíčního plánu, podle technického nebo technologického stavu zařízení.
- **S5** - je uloženo zahájit přípravu a zadání požadavku tak, aby mohl být realizován při následující odstávce daného bloku.
- **S8**[30] - je uloženo zahájit přípravu a zadání tak, aby bylo možno v termínu, určeném vystavitelem, realizovat práce s využitím všech dostupných (i mimořádných) opatření a to i v případě narušení akcí, schválených v denním plánu; přednost mají pouze práce na S1.

13.1.6.2 Plánování a příprava údržby JE Dukovany

Na základě programu údržby a kontrol, výstupů z programu řízeného stárnutí a výstupů z monitorování stavu zařízení za provozu jsou sestavovány věcné a finanční plány údržby roční, měsíční, odstávkové, týdenní a denní. Roční plán údržby a oprav vychází z programu údržby. Věcné měsíční plány a plány odstávek jsou plány, jejichž zpracování je podmíněno zpracováním ročního plánu a jsou doplněny o opravy zařízení z důvodu poruch. Týdenní a denní plán údržby je sestavován na základě měsíčních a odstávkových plánů a dle potřeby do něj mohou být operativně zahrnuty akce neodkladné údržby (odstraňování poruch)

[29] Spěšnost S1 je vyhrazena pro poruchy na zařízení ohrožující jadernou, radiační a obecnou bezpečnost, fyzickou ochranu a havarijní připravenost nebo hrozící snížením výkonu bloku.

[30] S8 je vyhrazena pro situace ohrožující postup důležitých prací.

Technologická příprava oprav zahrnuje:

- Zajištění potřebné dokumentace pro realizaci pracovního příkazu, u vybraných a vyhrazených zařízení i zajištění splnění legislativních požadavků.
- Zajištění potřebné dokumentace pro realizaci pracovního příkazu dle legislativních požadavků ČEZ u ostatních zařízení.
- Prověření kapacit, zamýšlených pro využití pro danou akci.
- Vystavení věcně správných a technicky jasných žádanek na zajištění materiálu.
- Vystavení věcně správných a technicky jasných požadavků na kontrakt s dodavatelem[31].

Podmínkou pro zahájení prací je existence dokumentace ve spisu přípravy. Spis přípravy je základní dokument opravárenských zásahů, testování, zkoušek a kontrol na zařízeních JE Dukovany. Spis přípravy je povinná pracovní dokumentace pro jakékoli činnosti na zařízeních jaderných elektráren, vyjma činností popsaných v provozních předpisech pro obsluhu zařízení. Je závazný pro vedení přípravné dokumentace, nutné k zahájení prací, a to pro jakýkoli registrovaný majetek JE Dukovany.

Spis přípravy pracovního příkazu tvoří soubor bezpečnostní dokumentace, zadávací dokumentace, zajišťovací dokumentace, výsledkové dokumentace a jednoho nebo několika úkolů pracovních příkazů. Pracovní příkaz jako základní prvek systému řízení údržby obsahuje souhrn úkolů pracovního příkazu řazených tak, aby práce byla prováděna bezpečně, efektivně a hospodárně.

13.1.6.3 Řízení a realizace oprav včetně dozoru nad dodavateli

Řízení a koordinaci prací zabezpečuje odbor koordinace JE Dukovany. Tento útvar zabezpečuje časové plány údržbových prací na zařízení JE Dukovany na základě požadavků odboru péče o zařízení, při důrazu na zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, technické bezpečnosti, BOZP, požární ochrany a ochrany životního prostředí. Výsledkem je koordinace všech činností jak provozních, údržbářských či investičních, které probíhají na zařízení JE Dukovany.

Protože elektrárna nemá vlastní výkonný údržbářský personál, je vlastní provádění údržby zajišťováno dodavatelskými firmami. JE Dukovany má vybraný a prověřený okruh dodavatelů, jak pro údržbu logických celků (případně technologických celků), tak pro ostatní zařízení, které využívá pro realizaci údržby. Dodavatelé provádí opravy na základě uzavřené smlouvy o dílo na realizaci údržbových činností. Smlouva stanovuje rozsah údržby, podmínky pro provádění činností a požadovanou jakost prováděných činností.

Dozor nad dodavateli oprav je prováděn jak pravidelnými pochůzkami kontrolních pracovníků odborných útvarů, tak i formou technického dozoru, který vykonávají pracovníci odboru péče o zařízení a také pracovníci útvaru realizace investic. Specializovaní pracovníci hodnotí činnost dodavatele nejen při přípravě práce, ale i při samotné realizaci činností na pracovišti. Elektrárna má zavedený systém periodického hodnocení kontrol dodavatelů, se kterým jsou jednotliví dodavatelé pravidelně seznamováni.

13.2 Příprava zaměstnanců EDU

13.2.1 Kvalifikace personálu jaderné elektrárny Dukovany

Pod pojmem kvalifikace se rozumí souhrn odborné, zdravotní, psychické a specifické způsobilosti zaměstnance EDU. Odpovědnost za kvalifikaci/způsobilost svých zaměstnanců a za vytváření podmínek při získávání, obnovování a prohlubování této způsobilosti mají jednotliví vedoucí zaměstnanci na všech stupních řízení.

[31] Pokud není uzavřena platná smlouva na dodavatelskou údržbu.

Kvalifikační požadavky na každé pracovní místo zaměstnance EDU, vyplývající z platné legislativy a specifických potřeb pro jeho činnost, jsou vedeny útvarem Rozvoj lidských zdrojů. Všem vedoucím zaměstnancům je přehled kvalifikačních požadavků jejich podřízených trvale k dispozici, a to včetně informací o aktuálním stavu jejich plnění. Při každé organizační změně (zrušení/vytvoření nového pracovního místa, změně rozsahu činností u téhož organizačního čísla, která má za následek změnu požadavků na kvalifikaci zaměstnance, atd.) je příslušný vedoucí útvaru povinen souběžně s podáním návrhu na organizační změnu posoudit dopady této změny do kvalifikací a tyto úpravy zohlednit v nastavení kvalifikačních požadavků na příslušném pracovním místě.

Stanovené kvalifikační požadavky jsou porovnávány se skutečným plněním odborné, zdravotní, psychické a specifické způsobilosti zaměstnance. Výsledky tohoto porovnání slouží k plánování a řízení přípravy a dalšího rozvoje zaměstnanců. Skutečné plnění kvalifikací je pak dokladováno kopiemi Osvědčení, Certifikátů, Protokolů, Oprávnění apod., které jsou uloženy v útvaru Rozvoj lidských zdrojů v osobním spise každého zaměstnance. Jsou-li splněny předepsané kvalifikační požadavky je zaměstnanec způsobilý k výkonu činnosti a u vybraných funkcí je zaměstnancům vystaveno Pověření k výkonu činnosti.

13.2.2 Systém přípravy zaměstnanců

Příprava personálu EDU vychází ze systému školství v ČR a řídí se platnou legislativou České republiky, požadavky dozorných orgánů, doporučeními Mezinárodní agentury pro atomovou energii a dobrými zkušenostmi z provozu JE ve světě. Příprava personálu plní především ustanovení zákona č.18/1997 (Atomový zákon) a vyhláškou SÚJB č. 146/1997 Sb., kterou se stanoví činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany ve znění vyhl. 315/2002 Sb.

Značný podíl zaměstnanců EDU má vysokoškolské vzdělání nebo střední odborné vzdělání a z těchto důvodů je systém přípravy personálu zaměřen na doplňování specifických znalostí z oblasti jaderných elektráren a na získání praktických dovedností pro výkon daných činností. Zvláštní pozornost je věnována vybraným pracovníkům, kteří vykonávají činnosti s bezprostředním vlivem na jadernou bezpečnost a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany. Příprava těchto pracovníků je zakončena vykonáním zkoušky před státní, resp. před odbornou zkušební komisí za účasti SÚJB.

Cílem přípravy personálu je naplnění požadavků, vyplývajících z výše uvedené legislativy, a tím zabezpečení potřebných znalostí a dovedností managementu, pracovníků provozu i podpůrného personálu. Dosažení tohoto cíle je ověřováno zkouškami a u vybraných funkcí formalizováno vydáním Pověření k výkonu činnosti.

13.2.2.1 Dělení zaměstnanců dle základní přípravy

Zaměstnanci, kteří vykonávají pracovní činnosti na EDU, jsou z hlediska řízení a provádění jejich základní přípravy v činnostech se vztahem k **jaderné bezpečnosti** rozděleni takto:

- α **- vedoucí zaměstnanci** - zaměstnanci, kteří vykonávají vedoucí a další určené funkce v provozních, technických a údržbářských útvarech EDU, výhradně zaměřených na jaderné aktivity, s výjimkou vybraných pracovníků.
- β **- vybraní pracovníci jaderných zařízení** – zaměstnanci, kteří vykonávají pracovní činnosti s bezprostředním vlivem na jadernou bezpečnost (obsluhy blokových dozoren) a jejichž zvláštní odborná způsobilost je ověřována zkouškou před státní zkušební komisí SÚJB.
- γ **- zaměstnanci technických útvarů** - zaměstnanci, kteří vykonávají funkce v technických útvarech EDU výhradně zaměřených na jaderné aktivity, s výjimkou vedoucích zaměstnanců, specialistů a vybraných pracovníků.

- **δ - Obslužní směnoví a provozní zaměstnanci -** zaměstnanci, kteří vykonávají obslužné činnosti na technologických zařízeních EDU do úrovně mistrů včetně.
- **ε - zaměstnanci údržby** - zaměstnanci, kteří vykonávají údržbářské činnosti na technologickém zařízení EDU, s výjimkou vedoucích zaměstnanců.
- **ω - ostatní zaměstnanci -** zaměstnanci, kteří vykonávají vedoucí funkce a funkce specialistů v odborných útvarech, jejichž činnosti nejsou zaměřeny výhradně na jaderné aktivity.
- **α - jaderná výroba -** zaměstnanci, kteří vykonávají činnosti důležité z hlediska jaderné bezpečnosti a které nelze zařadit do žádné z výše uvedených skupin přípravy.
- **γ - finance a správa -** zaměstnanci, kteří vykonávají činnosti důležité z hlediska jaderné bezpečnosti a které nelze zařadit do žádné z výše uvedených skupin přípravy.

Zaměstnanci, kteří vykonávají pracovní činnosti na EDU, jsou z hlediska řízení a provádění jejich základní přípravy v činnostech se vztahem k **radiační ochraně** rozděleni takto:

- **π - vybraní pracovníci se zdroji ionizujícího záření -** zaměstnanci, kteří vykonávají pracovní činnosti zvlášť důležité z hlediska radiační ochrany a jejichž zvláštní odborná způsobilost je ověřována zkouškou před odbornou zkušební komisí SÚJB.
- **ρ - zaměstnanci nakládající se zdroji ionizujícího záření -** zaměstnanci nakládající se zdroji ionizujícího záření v kontrolovaném pásmu velmi významných zdrojů ionizujícího záření, nebo významných či jednoduchých zdrojů.
- **σ - ostatní zaměstnanci z hlediska radiační ochrany -** zaměstnanci, kteří vstupují do kontrolovaného pásma velmi významných zdrojů ionizujícího záření v případě mimořádných událostí nebo nakládají se zdroji ionizujícího záření mimo kontrolované pásmo.

Dle zaměření pracovních činností na EDU se tvoří specializace (primární část, sekundární část, měření a regulace, elektrická část, chemie, radiační ochrana, provozní režimy a jaderná bezpečnost, jaderná výroba, jaderné investice), které jsou dalším kritériem pro zařazování zaměstnanců do přípravy. O zařazení zaměstnance do skupiny přípravy a specializace a o cílech jeho přípravy rozhoduje příslušný vedoucí zaměstnanec dle kvalifikačních požadavků pro dané pracovní místo.

13.2.2.2 Náplň a cíle základní přípravy

Základní příprava (ZP) slouží k získání popř. zvýšení specifické a odborné způsobilosti zaměstnance, potřebné pro výkon příslušné pracovní činnosti na EDU. ZP jsou povinni absolvovat všichni nově přijímaní zaměstnanci a zaměstnanci připravovaní pro změnu pracovní činnosti, a to v rozsahu uvedeném v kvalifikačních požadavcích na dané pracovní místo. Základní příprava je v rámci systému přípravy a příslušných výcvikových programů obsahem i rozsahem diferencována a probíhá dle zařazení zaměstnance do skupiny přípravy v některých nebo všech následujících etapách:

- Školení ke vstupu do JE Dukovany (EDU) včetně školení z BOZP, požární ochrany, ochrany životního prostředí, havarijní připravenosti a fyzické ochrany.
- Instruktáže na pracovišti.
- Základní školení pro samostatnou práci v kontrolovaném pásmu.
- Základní příprava v etapě do Osvědčení.
- Základní příprava v etapě do Pověření.

Účelem školení ke vstupu do EDU je, aby nový zaměstnanec získal základní informace o principu výroby elektrické energie v jaderné elektrárně, představu o dispozičním uspořádání elektrárny, o její organizaci, jaderné bezpečnosti, radiační a fyzické ochraně, naučil se správně reagovat při výskytu mimořádných nebo neobvyklých

událostí, osvojil si zásady bezpečné práce, požární ochrany, získal vědomosti jak zacházet s odpady apod. Školení je povinen absolvovat každý nově nastupující zaměstnanec, který se bude pohybovat samostatně ve střežených prostorech STP EDU1-4, nebo který v těchto prostorech nepracoval déle jak 1 rok.

Účelem školení a instruktáže na pracovišti je seznámit nového zaměstnance nebo zaměstnance přecházejícího na jiné pracovní místo s pracovištěm a bezpečnostními předpisy, které musí na daném pracovišti dodržovat, upozornit jej na nebezpečná místa, seznámit jej s používáním potřebných ochranných pomůcek a tím minimalizovat rizika pracovních úrazů, vzniku požárů, možnosti provozních poruch, mimořádných událostí atd. Toto školení spolu s instruktáží představuje formu školení vyžadovanou dle § 35, odst. 2 zákoníku práce, dále dle vyhlášky č. 219/1997 Sb. a dle zákona č. 91/1995 Sb. Školení a instruktáž je povinen absolvovat každý nově přijatý nebo převedený zaměstnanec při prvním nástupu na pracoviště nebo při změně pracoviště či pracovní náplně činnosti (instruktáž).

Účelem školení pro samostatnou práci v kontrolovaném pásmu je, aby zaměstnanec získal základní informace o ionizujícím záření, jeho účincích a principech ochrany před zářením, naučil se zacházet s ochrannými prostředky a dozimetry, pochopil zásady a postupy pro zabránění pádu cizího předmětu do otevřené technologie primárního okruhu a osvojil si režimy pohybu a pobytu v kontrolovaném pásmu. Toto školení je povinen absolvovat každý zaměstnanec, který se bude bez doprovodu pohybovat v kontrolovaném pásmu EDU. Základní školení je jednorázové při první žádosti zaměstnance o vstup do kontrolovaného pásma nebo v případě, že jej absolvoval před více jak 12 měsíci, případně když mu bylo odebráno povolení vstupu do kontrolovaného pásma pro závažné porušení předpisů z neznalosti.

Základní příprava v etapě do Osvědčení (ZPo) probíhá v modulovém uspořádání a představuje kombinaci teoretické a praktické přípravy. Je uskutečňována s respektováním pracovního zařazení zaměstnance v některých nebo všech následujících formách v závislosti na výcvikovém programu pro danou skupinu přípravy a specializaci:

- Teoretická příprava.
- Stáž na EDU.
- Výcvik na simulátorech ~~(pouze pro operativní řídicí personál blokových dozoren).~~
- Příprava a vykonání zkoušky na Osvědčení.

Cílem základní přípravy je vykonání závěrečné zkoušky na Osvědčení, kterou je ověřena specifická odborná způsobilost, získaná zaměstnancem v dané skupině přípravy a specializaci. Forma ověření znalostí je písemná a ústní. Po úspěšném absolvování závěrečné zkoušky obdrží účastník Osvědčení.

Základní příprava do Pověření probíhá s respektováním konkrétní funkce (činnosti), kterou bude příslušný zaměstnanec vykonávat na pracovním místě v některých nebo všech následujících formách v závislosti na výcvikovém programu pro danou funkci (činnost):

- Teoretická příprava.
- Zácvik na vlastní (související) funkci.
- Příprava k získání Oprávnění.
- Příprava k získání Pověření.

Účelem této formy přípravy je na základě absolvování doplňkové přípravy v rámci příslušných výcvikových programů (na úrovni dalších odborných kurzů, stáží, zácviků, složení zkoušek apod.) dosáhnout odborné způsobilosti požadované v kvalifikačních předpokladech pro vydání Pověření k výkonu činnosti. Poslední částí přípravy k získání Pověření je u určených funkcí *Podniková zkouška*. ~~(vybraní pracovníci skupiny β ji absolvují již v předchozí etapě přípravy k získání Oprávnění). Doba platnosti Pověření je v zásadě časově neomezena. Platnost skončí automaticky buď organizační změnou, spojenou se změnou kvalifikačních požadavků, převodem zaměstnance na jinou pracovní činnost nebo odejmutím tohoto Pověření.~~

13.2.2.3 Periodická příprava

Periodická příprava slouží k udržování, obnovování a prohlubování specifické a odborné způsobilosti zaměstnance, potřebné pro výkon jeho stávající pracovní činnosti na EDU, kterou nabyl absolvováním Základní přípravy. Periodickou přípravu je povinen absolvovat každý zaměstnanec včetně vybraných pracovníků, a to v rozsahu uvedeném v kvalifikačních požadavcích. Periodická příprava je v rámci systému přípravy a příslušných výcvikových programů obsahem i rozsahem diferencována pro jednotlivé pracovní činnosti (funkce) a probíhá např. v ~~některých nebo všech~~ následujících formách:

- Periodické školení z BOZP, požární ochrany, ochrany životního prostředí, havarijní připravenosti a fyzické ochrany.
- Periodické školení pro samostatnou práci v kontrolovaném pásmu.
- Školicí dny směnového a nesměnového personálu.
- Periodický kurz strojníků.
- Periodický výcvik na simulátorech (operativní personál blokových dozoren).
- Příprava k opětovnému získání Oprávnění.
- Podniková zkouška.

13.2.2.4 Školení dodavatelů

Cílem přípravy zaměstnanců dodavatelů EDU je zabezpečení takové úrovně způsobilosti zaměstnanců dodavatelů pro výkon pracovních činností, která povede k udržení, respektive ke zvýšení jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, fyzické ochrany, havarijní připravenosti, spolehlivosti zařízení jaderné elektrárny, efektivnosti její výroby a minimalizaci lidských chyb. Typy zajišťovaného specifického školení jsou následující:

- Vstupní a periodické ~~opakovací~~ školení pro vedoucí a výkonné zaměstnance k získání a udržení způsobilosti samostatného vstupu do střeženého prostoru JE Dukovany. ~~(STP EDU1-4)~~.
- Základní a periodické školení pro vstup do kontrolovaného pásma a pravidla pro práci na otevřené technologii.
- Základní příprava pro vedoucí zaměstnance dodavatelů včetně přípravářů údržby.
- Profesní školení pro vybrané zaměstnance (např. systém PASSPORT, vyhláška č.309/2005, aj.).

13.2.2.5 Profesní příprava

Profesní příprava slouží k získávání, udržování, obnovování a prohlubování profesní odborné způsobilosti zaměstnance, potřebné pro výkon jeho pracovní činnosti na EDU. Nejvýznamnějšími položkami profesní přípravy jsou např.:

- Š~~š~~kolení z vyhlášky č. 50/1978 Sb.~~,~~
- ~~-~~Š~~š~~kolení obsluh tlakových nádob stabilních
- ~~,~~Š~~ š~~kolení obsluh plynových zařízení
- Š~~, š~~kolení pro práci ve výškách~~,~~
- ~~-~~P~~p~~říprava pro získání certifikátu na nedestruktivní zkoušky a podobně.

Mezi profesní přípravu patří i kurzy měkkých dovedností, pedagogická příprava interních lektorů a instruktorů včetně praktického nácviku nebo odborné semináře.

13.2.3 Záměna a přeškolení personálu

Záměnou a přeškolením personálu se rozumí příprava zaměstnance ke změně pracovní činnosti, což je zvláštní forma základní přípravy, jejímž cílem je doplnění dosud získaných vědomostí a praktických zkušeností o další specifické znalosti a dovednosti, které jsou potřebné pro jiné pracovní činnosti, než doposud zaměstnanec vykonával.

Týká se všech zaměstnanců EDU, připravujících se na jinou pracovní činnost, která dle kvalifikačních předpokladů vyžaduje prohloubení a doplnění stávající odborné způsobilosti. Jedná se o dvě různé formy přípravy, které buď:

- Vyžadují vydání nového Osvědčení ze základní přípravy dle kvalifikačních předpokladů pro novou pracovní činnost.
- Nejsou podmíněny vydáním nového Osvědčení, ale změna pracovní činnosti vyvolá potřebu další přípravy a prohloubení stávající specifické způsobilosti.

13.2.3.1 Příprava ke změně pracovní činnosti spojená s vydáním Osvědčení

Zaměstnanci, kteří jsou připravováni ke změně pracovní činnosti, absolvují obecně stejnou přípravu do Osvědčení jako noví zaměstnanci s výjimkou těch modulů, které již absolvovali v rámci své základní přípravy na původně vykonávanou funkci. ~~Příprava probíhá ve stejných formách.~~

~~Požadavek vydání nového Osvědčení vzniká, jestliže nastal alespoň jeden z následujících případů:~~

~~Výkon nové pracovní činnosti vyžaduje získání Osvědčení ve skupině přípravy, která leží nalevo od skupiny přípravy, ve které již zaměstnanec Osvědčení vlastní.~~

~~Výkon nové pracovní činnosti vyžaduje „Osvědčení“ ve specializaci~~ odlišné od specializace, ve které již zaměstnanec Osvědčení vlastní.

Změna typu jaderné elektrárny, na němž je vykonávána pracovní činnost (VVER 440 x VVER 1000), je zvláštním případem přípravy pro změnu pracovní činnosti – jedná se o tzv. doškolení. Doškolení je určeno pro zaměstnance, kteří již mají absolvovanou skupinu přípravy α, β, γ, δ, ε pro JE VVER 440, resp. VVER 1000. Příprava probíhá modulovým systémem a je zakončena vydáním Osvědčení o doškolení. Organizace a realizace jednotlivých forem doškolení je analogická základní přípravě pro nově nastupující zaměstnance.

13.2.3.2 Příprava ke změně pracovní činnosti - skupina přípravy β

Při změnách pracovní činnosti (rekvalifikacích) mezi funkcemi řídícího operativního personálu (OSO/OPO, OPO/OSO, OPO/VRB, OB/VRB a VRB/SI) musí být splněna podmínka, že zaměstnanec vlastní Osvědčení skupiny β pro VVER 440 a plní požadovanou délku praxe na původní funkci.

Rekvalifikace se skládá z teoretické přípravy, ze zácviku na novou funkci, z výcviku na simulátorech a z teoretické a praktické části zkoušek na Oprávnění před státní zkušební komisí SÚJB. Teoretická příprava je zakončena vydáním Osvědčení.

13.2.3.3 Příprava ke změně pracovní činnosti spojená s prohloubením specifické způsobilosti

Přípravou spojenou s prohloubením odborné způsobilosti personálu EDU rozumíme zpravidla rozsáhlejší investiční a modernizační akce, které jsou na EDU prováděny. Příprava (zaškolení) personálu zahrnuje pracovníky profesí, podílejících se na přípravě a realizaci dané investiční akce, pracovníky obsluhy, správy a údržby jednotlivých systémů, školicí personál, jakož i pracovníky, jejichž vztah k dotčeným systémům je čistě uživatelský, včetně technickohospodářských a řídících pracovníků.

V souladu se systémem odborné přípravy zaměstnanců je možno zaškolení personálu přicházejícího do styku s příslušnými technologickými, bezpečnostními a řídicími systémy rozdělit do dvou fází:

- Jednorázové zaškolení vybrané části personálu, bezprostředně se podílejícího na přípravě a realizaci investiční akce.
- Trvalé změny v obsahu základní a periodické přípravy veškerého personálu.

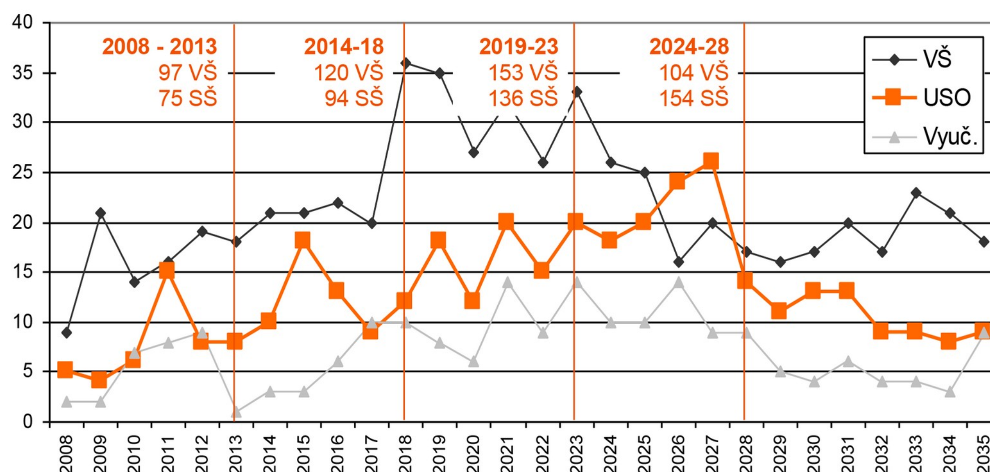
Podmínkou je, aby jednorázové zaškolení bylo ukončeno pro příslušné kategorie pracovníků s dostatečným předstihem před zahájením vlastní realizace, komplexním vyzkoušením, respektive před nasazením obnoveného zařízení do zkušebního provozu na realizovaném bloku EDU.

13.2.4 Program obnovy personálu pro dlouhodobý provoz JE Dukovany

Cílem programu „Obnova personálu JE Dukovany“ je vytvořit systém zajišťování kvalifikované pracovní síly pro dlouhodobý provoz EDU s perspektivou do roku 2045 a tento systém implementovat tak, aby byla udržena požadovaná úroveň znalostí a zkušeností pro dlouhodobé provozování JE Dukovany. Na základě znalosti věkové struktury zaměstnanců a statisticky průměrné fluktuace lze dobře predikovat potřebné počty pro nábor nových pracovníků v jednotlivých kvalifikačních skupinách.

13.2.4.1 Potřeba náboru v souvislosti s věkovou strukturou

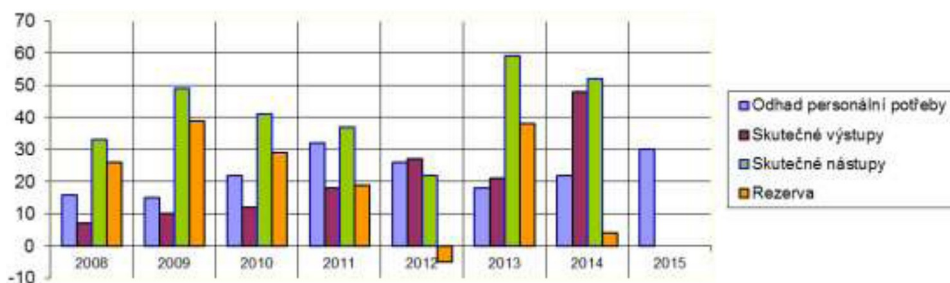
Teoretické potřeby náboru personálu pro EDU v jednotlivých letech jsou uvedeny v následujícím grafu, kde na svislé ose jsou počty lidí:



Obr. 138. Personální potřeby JE Dukovany do roku 2035

Aktuální obměna zaměstnanců, odcházejících do důchodu, probíhá v souladu s personálním plánem JE Dukovany. Nárokové termíny odchodů do důchodu jsou u některých pracovníků spíše prodlužovány vzhledem k této možnosti, vyplývající z aktuálně platné státní legislativy, čímž vzniká i jistá rezerva.

Skutečnost personálních stavů a potřeb je pak znázorněna na následujícím grafu, kde na svislé ose jsou počty lidí:



Obr. 139. Obměna personálu JE Dukovany v letech 2008 – 2015[32]

[32] V roce 2012 byly využity personální rezervy z předcházejících let.

13.2.4.2 Demografická situace v regionu

Demografický vývoj v přilehlých krajích se projevuje nižší obsazeností technických oborů SŠ a následně i VŠ, respektive nižšího počtu odborníků s praxí v pozdějších letech. Počínaje rokem 2008 dochází k postupnému poklesu dětí u věkové skupiny 15 - 19 let, která reprezentuje studenty středních škol. Pokles zaznamenáme nejvýraznější mezi lety 2010 a 2015. Celkem se jedná o 30% úbytek potenciálních středoškoláků.

Současně s poklesem počtu středoškoláků dochází ke změnám vzdělanostní struktury populace. Roste zájem o středoškolské obory zakončené maturitní zkouškou (cca 65% populace absolventů ZŠ) a zvyšuje se zájem o vysokoškolské vzdělání (cca 55% populace absolventů SŠ), které může výhledově dosáhnout až 65%. Při těchto změnách posílených poklesem počtu středoškoláků nezbytně dojde ke snížení nabídky oborů SŠ, především pak u SOU a potenciálně i SOŠ. Výsledkem souběhu trendů v oblasti SŠ a VŠ lze očekávat celkový úbytek počtu absolventů SŠ, kteří budou po skončení studia na střední škole nastupovat do praxe.

Z výše uvedených důvodů je třeba v rozumné míře plošně podpořit střední školy v přilehlých krajích, především na Vysočině a v Jihomoravském kraji. Strategii spolupráce se SŠ je nutné rozvíjet jak za účelem získání absolventů pro praxi v ČEZ, a. s., (především SOŠ), tak za účelem získání absolventů pro studium technických oborů VŠ. Dále je třeba intenzivně spolupracovat s VŠ a zajistit nástup absolventů SŠ na technické obory a následně je motivovat pro nástup do ČEZ, a.s. Cíleně je třeba využít potenciál VUT Brno a VŠB Ostrava, případně i VŠ na Slovensku.

13.2.4.3 Zajištění personálu JE Dukovany

Z výše uvedených skutečností a aktivit vyplývá, že v rámci přípravy JE Dukovany na další provoz jsou počty personálu a jejich kvalifikace dostatečné. Vzhledem k tomu, že náborem jsou získáváni lidé s celou profesní kariérou před sebou (přičemž lze odhadovat minimálně 35 let profesní kariéry již zaškoleného a kvalifikovaného pracovníka), je při současném stavu náboru a fluktuace možno EDU provozovat minimálně dalších 10 let bez omezení v oblasti kvalifikovaného personálu. Skutečná délka personálního zajištění provozu je pak podstatně delší.

13.3 Havarijní připravenost

Havarijní připravenost je souborem opatření, postupů, dokumentace, připravených technických prostředků, dalších zdrojů a vycvičeného personálu, který slouží pro eliminaci, respektive zmírnění následků potenciální havárie JE Dukovany, spojené s únikem RA látek do okolí elektrárny. V případě událostí, spojených s narušením bezpečnostních funkcí a bariér proti šíření RA látek, se jedná o systém řízení, který je primárně určen pro řešení události v úrovni DiD 5. Aktivace tohoto systému je však prováděna ve výrazném předstihu, přičemž již od úrovně DiD 3 jsou prováděny zásahy a opatření, které snižují pravděpodobnost rozvoje havárie do úrovně, spojené s poškozením palivových souborů (DiD 4).

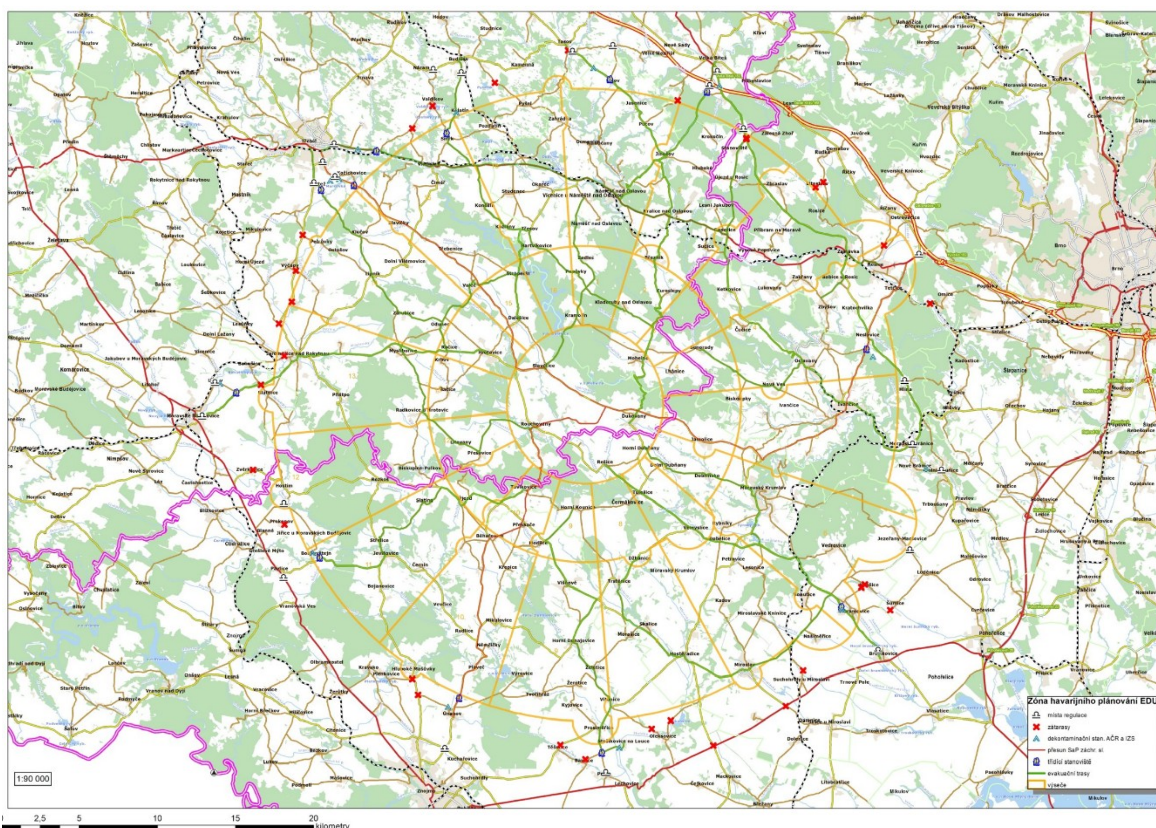
Pro zajištění havarijní připravenosti na EDU má provozovatel jaderného zařízení zpracován vnitřní havarijní plán. Vnitřní havarijní plán obsahuje soubor všech plánovaných opatření k zajištění havarijní připravenosti, stanovených vyhláškou SÚJB č. 318/2002 Sb. Popisuje zejména vytvoření technických, organizačních a personálních podmínek pro identifikaci mimořádných událostí, posuzování závažnosti mimořádných událostí, vyhlašování mimořádných událostí, řízení a provádění zásahů, způsoby omezení ozáření zaměstnanců a dalších osob, přípravu zaměstnanců a dalších osob a ověřování havarijní připravenosti.

Cílem havarijní připravenosti je zajistit, aby ani v případě radiační havárie nepřekročily dávky ionizujícího záření obyvatelstva přijatelnou úroveň, což znamená, že podmínky v lokalitě musí umožňovat včasné a úplné zavedení ochranných opatření k

omezování ozáření osob a životního prostředí stanovených vyhláškou SÚJB č. 307/2002 Sb.

13.3.1 Zóna havarijního plánování

Zóna havarijního plánování je oblast 20 km v okolí JE Dukovany, v níž se na základě výsledků rozborů možných následků radiační havárie uplatňují požadavky z hlediska havarijního plánování. Z organizačního hlediska je okolí EDU - zóna jejího havarijního plánování, v níž se ochranná opatření plánují a připravují, rozdělena jednak do tří pásem představujících kružnice (pásma) o poloměrech 5 km, 10 km a 20 km od EDU, jednak na 16 kruhových výsečí po 22,5 stupně tak, aby osy těchto výsečí odpovídaly směrům větru počínaje 0 stupněm.



Obr. 140. Zóna havarijního plánování JE Dukovany **(pokud je k dispozici hezčí prosím poslat nebo obrázek vyhodit a dát odkaz na kapitolu 2.8)**

Koordinací zpracování vnějšího havarijního plánu a řešení havárie je pověřen KÚ Kraje Vysočina na jehož území se JE Dukovany nachází. Koordinující krajský úřad navrhuje a doporučuje na základě podkladů od KŠ SÚJB, JE Dukovany a skutečné situace na území okresu Třebíč, Brno-venkov a Znojmo, kdy a jaká ochranná opatření se budou přijímat. Vnější havarijní plán navazuje na vnitřní havarijní plán a společně s JE Dukovany se komplexně řeší úkoly k zajištění havarijní připravenosti na celém území zóny havarijního plánování.

13.3.2 Organizace havarijní odezvy

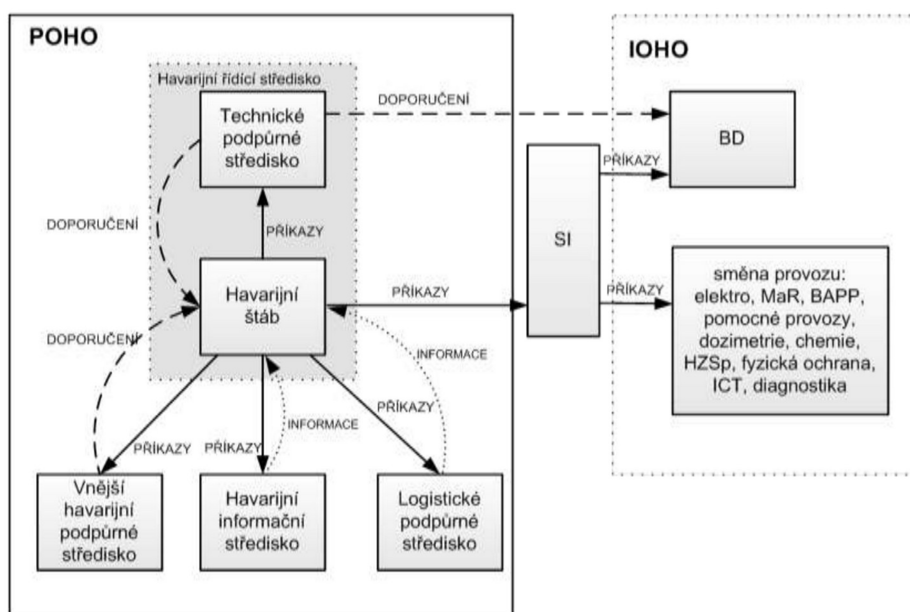
Organizace havarijní odezvy zajišťuje pro případ rozvoje mimořádné události do havarijních podmínek změnu systému řízení JE Dukovany. V přesně definovaných stavech tak mění kompetence a činnosti jednotlivých funkčních míst (personálu), respektive zavádí funkce nové s přiřazenými činnostmi, které jsou pro úspěšné zvládnutí situace třeba. Zavádí rovněž postupy, návody a instrukce, které využívají kapacity technického podpůrného střediska, případně externí podpory. V technické oblasti pak

umožňuje použití všech dostupných technických prostředků pro omezení důsledků havarijního stavu.

Provádění zásahů při vzniku mimořádné události je zabezpečováno v první fázi rozvoje události vždy personálem nepřetržitého směnového provozu. V případě, kdy událost svým rozsahem přerůstá nad rámec možností personálu nepřetržitého směnového provozu, začíná druhá fáze, kdy je aktivována organizace havarijní odezvy. V tomto případě přebírá odpovědnost za řízení zásahů havarijní štáb (HŠ) JE Dukovany s podporou technického podpůrného střediska (TPS).

13.3.2.1 Složení organizace havarijní odezvy

Organizace havarijní odezvy se skládá z interní organizace havarijní odezvy (IOHO), složené ze směnového personálu a pohotovostní organizace havarijní odezvy (POHO), složená ze specialistů technického personálu JE Dukovany, kteří drží pohotovost. Schematický nákres organizace havarijní odezvy je na následujícím obrázku:



Obr. 141. Schéma organizace havarijní odezvy JE Dukovany

Pro výběr směnových pracovníků i pro výběr pracovníků POHO je zaveden systém požadavků na kvalifikaci a jsou brána do úvahy i další kritéria zohledňující jejich znalosti a odbornost. Připravenost směnového a technického personálu ke zvládání technologických havárií se pravidelně ověřuje při výcviku na plnorozsahovém simulátoru za účasti personálu technického podpůrného střediska (TPS) a v průběhu havarijních cvičení.

13.3.2.2 Princip práce organizace havarijní odezvy

Organizace havarijní odezvy je iniciována definovanými mimořádnými událostmi na elektrárně. Tyto události jsou kategorizovány do několika oblastí, přičemž za jejich klasifikaci a rozhodnutí o svolání havarijního štábu a následném přechodu na řízení prostřednictvím organizace havarijní odezvy odpovídá směnový inženýr. Obecná hranice pro aktivaci organizace havarijní odezvy je zahájená úroveň DiD 3[33].

[33] Pro aktivaci organizace havarijní odezvy jsou stanovena rovněž další kritéria, která se stavem jaderné technologie nesouvisí přímo, avšak tuto organizaci je rovněž účelné pro řešení použít, i když v některých případech ne v plném složení. Příkladem mohou být ekologické havárie nebo externí ohrožení elektrárny. Směnový inženýr má rovněž možnost svolat havarijní štáb při jiných, něž definovaných událostech dle svého zdůvodněného rozhodnutí, zpravidla po konzultaci s aktuálně sloužícím velitelem havarijního štábu.

Havarijní štáb se po své aktivaci (dojezd jeho pracovníků na elektrárnu a aktivace technických prostředků havarijního řídicího střediska) seznámí s nastalou situací a rozhodnutím velitele havarijního štábu prokazatelným způsobem (zápisem) přebírá řízení mimořádné události. Havarijní štáb po převzetí řízení stanovuje další strategie a postupy, řeší použití dalších prostředků k řešení situace včetně externí pomoci a je odpovědný za komunikaci vůči SÚJB, orgánům samospráv, státní správy a veřejnosti. Pří řízení mimořádné události je hlavním partnerem havarijního štábu směnový inženýr, prostřednictvím nějž jsou zpravidla jednotlivé zásahy v technologii i areálu prováděny. Při řízení zásahu jsou možné i přímé příkazy z havarijního řídicího střediska jednotlivým zásahovým skupinám, avšak směnový inženýr by měl být i v těchto situacích o nařízených zásazích informován.

Pro podporu rozhodování v technické oblasti slouží technické podpůrné středisko (TPS). Je složeno z expertů na jednotlivé oblasti technologie, přičemž pro řešení nápravy stavu technologie je hlavním partnerem pro bezpečnostního inženýra směny, respektive příslušnou blokovou dozornu. Technické podpůrné středisko je vybaveno jednak datovými výstupy s technologickými parametry všech reaktorových bloků, jednak inženýrskými nástroji pro podporu řešení situace.

Interní organizace havarijní odezvy (směnový personál) zůstává v činnosti a provádí dálkové nebo místní zásahy pro implementaci přijatých opatření. Místní činnosti a případné opravy zařízení v příslušných částech reaktorovny, strojovny nebo vnějších objektů jsou zajišťovány zásahovými skupinami, které by byly sestavovány z pracovníků směny, případně dodavatelských organizací.

13.3.2.3 Koncepce zvládání mimořádných událostí

Koncepce zvládání technologických havárií na JE Dukovany je založena na symptomatickém přístupu. Pro řešení technologických havárií jsou zpracovány strategie, které jsou obsaženy v symptomaticky orientovaných havarijních předpisech a podle kterých je řešena situace prostřednictvím blokových dozoren. Jejich hlavní prioritou je obnovení odvodu tepla z aktivní zóny a zabránění poškození první bariéry proti úniku RA látek (pokrytí paliva). Tyto předpisy pokrývají úroveň DiD 3 a zároveň poskytují takové kontrolní mechanismy, které zavčas umožní predikovat selhání této úrovně a signalizovat přechod do DiD 4.

Koncepce řízení mimořádné situace je založena na několika základních strategických východiscích:

- Pokud dojde k selhání některého technologického systému a ohrožení plnění bezpečnostních funkcí, jsou činěna okamžitá opatření pro obnovení technologické a bezpečnostní funkce.
- Pro plnění bezpečnostních funkcí jsou použity všechny připravené prostředky adekvátně ke vzniklé situaci s cílem prevence rozvoje havárie.[34]

Předpokladem pro přechod řešení situace z úrovně DiD 3 do DiD 4 je selhání použité strategie DiD 3. Úlohou technického podpůrného střediska je analyzovat důvody selhání strategie (například selhání všech bezpečnostních systémů a jejich důvod), navrhnout taková opatření, která by danou situaci napravila (například oprava vybraného systému) a doporučovat je havarijnímu štábu k rozhodnutí a realizaci. V případě neúspěšného obnovení strategie DiD 3 a přechodu do strategií DiD 4 pak nejvhodnější postup stanovuje technické podpůrné středisko, neboť v této situaci již standardní havarijní předpisy nelze použít a strategii je třeba přizpůsobit nastalé situaci. Jako podpora pro toto rozhodování pak slouží soubory návodů pro zvládání těžkých havárií (SAMG), jejichž hlavním cílem je ochrana čtvrté bariéry (kontejnmentu) proti úniku RA látek do okolí.

[34] Pokud například v průběhu řešení havárie dojde k selhání napájení parogenerátorů a ohrožení bezpečnostní funkce odvodu tepla, jsou pro obnovení bezpečnostní funkce použity i diverzní a alternativní prostředky, koncipované pro těžké havárie, přestože situace svým charakterem spadá stále do DiD 3 a v danou chvíli není předpoklad poškození pokrytí paliva.

Na základě predikce vývoje situace a hrozby úniku RA látek z kontejnmentu (přechod do úrovně DiD 5) pak havarijní štáb v součinnosti s orgány státní správy a integrovaného záchranného systému ČR predikuje možné zasažení okolí elektrárny (zóny havarijního plánování dle kap. 13.3.1) a přijímá adekvátní opatření.

13.3.3 Havarijní řídicí středisko

JE Dukovany má pro řízení odezvy na vzniklou mimořádnou událost vytvořeno havarijní řídící středisko, které se nachází v areálu elektrárny v krytu č. 4 pod budovou AB1.

13.3.3.1 Konstrukce a odolnost havarijního řídicího střediska

Kryt, v němž se středisko nachází, je tvořen železobetonovou konstrukcí a je schopen odolat zemětřesení od seismicity úrovně SL-2, což představuje pravděpodobnost výskytu 1x 10 000 let. Toto vyhovuje požadavkům bezpečnostního standardu IAEA[35] pro hodnocení seismické odolnosti jaderných elektráren. Kryt je schopen zachovat si svoji integritu i po zřícení budovy AB1, pod níž se nachází. Hodnocení seismické odolnosti krytu č. 4 prokázalo, že HŘS zůstane celistvé a přístupné nouzovým vchodem i po zavalení sutinami nadzemní budovy AB1 po seismické události.

Provedení železobetonové konstrukce budovy a krytu předpokládá životnost stavebních částí nejméně 80 let od ukončení výstavby. Stavební části krytů jsou provozovatelem JE Dukovany pravidelně kontrolovány a udržovány správcem zařízení. Havarijní řídicí středisko není určeno k ovládání elektrárny a svým umístěním je fyzicky odděleno od blokových i nouzových dozoren jednotlivých bloků.

Pro ochranu personálu je havarijní řídicí středisko materiálně a technicky vybaveno tak, že je možné ho nepřetržitě obývat 72 hodin bez vnějšího zásahu. Kryt je vybaven normální ventilací i ventilací s filtrací pro případ radiačního zamoření okolí. Ventilace je podobně jako ostatní elektroinstalace krytu, napojena na záložní napájení pro případ ztráty napájení. Ventilace je schopna zabezpečit tyto provozní režimy:

- Normální větrání – zabezpečuje větrání a klimatizaci prostor.
- Částečnou filtroventilaci – zajišťuje ochranu proti radioaktivnímu prachu ze spadu.
- Filtroventilaci – zabezpečuje ochranu proti radioaktivnímu prachu, otravným látkám (s výjimkou CO) a biologickému zamoření.
- Úplnou izolaci – na omezenou dobu odděluje plynotěsně prostor krytu od vnější atmosféry.
- Regeneraci – zajišťuje pohlcování oxidu uhličitého a obohacování vzduchu kyslíkem.

Pro monitoring radiační situace před krytem je na vnějším opláštění instalováno měření dávkového příkonu se zobrazovací jednotkou umístěnou uvnitř krytu. K měření povrchové kontaminace ukrývaných osob slouží dozimetrický přístroj, který je instalován uvnitř krytu. Monitoring radiační situace uvnitř krytu zajišťuje krytové družstvo, které je vybaveno mobilními radiometry. Tyto přístroje jsou určené k měření povrchové kontaminace i dávkového příkonu.

13.3.3.2 Pracoviště havarijního štábu

Pracoviště havarijního štábu je hlavním řídícím pracovištěm organizace havarijní odezvy JE Dukovany. Po aktivaci jsou z tohoto pracoviště řízeny činnosti všech zaměstnanců a dalších osob, podílejících se na provádění zásahu při potlačování rozvoje a řešení následků mimořádné události v JE Dukovany. Z tohoto pracoviště je zajištěna komunikace s vnějšími složkami havarijní připravenosti, předávání informací dozornému

[35] IAEA Safety guide NS-G-1.6 (Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants), Vienna

orgánu a orgánům krizového řízení. Z pracoviště se rovněž zabezpečuje vyhlašování ochranných opatření pro zaměstnance a další osoby, nacházející se v areálu JE Dukovany, v době vzniku mimořádné události.

Pracoviště je materiálně a technicky vybaveno následujícími prostředky:

- Několinásobně zálohované a diverzifikované komunikační systémy – telefonní linky, mobilní telefony (včetně pokrytí GSM signálem uvnitř pracoviště), faxy, mailová komunikace, vnitřní radiová síť, přístup na vnější radiovou síť integrovaného záchranného systému, satelitní telefon, polní telefony (pro zajištění komunikace mezi provozně důležitými centry na JE Dukovany), přímé speciální linky na operační střediska Jihomoravského kraje a Kraje Vysočina.
- Webový přístup do NLAN (Nadbloková technologická sběrnice LAN) s technologickými daty všech reaktorových bloků (VISNLAN).
- RTARC (Real Time Accident Release Consequence) – SW prostředek, který je určen k ocenění radiační situace v okolí JE Dukovany v první fázi havárie. Výstupem je prognóza radiační situace v areálu JE Dukovany a v okolí. Software navíc umožňuje výpočet prognózy radiační situace od bodu úniku do vzdálenosti 40 km.
- Vnitřní poplachový systém pro vyrozumění a varování ohrožených osob v případě mimořádné události na JE Dukovany. Je podmiňujícím článkem pro zahájení základních ochranných opatření.
- Centrální Informační Systém Radiační Kontroly (CISRK) slouží ke shromažďování a prezentaci dat o radiační situaci v areálu elektrárny a stavech monitorů kontaminace na hranicích kontrolovaného pásma.
- Teledozimetrický systém (TDS) - kontinuálně monitoruje příkon dávkového ekvivalentu záření gama v areálu JE Dukovany a ve vybraných okolních obcích v okolí.

13.3.3.3 Pracoviště technického podpůrného střediska

Pracoviště je umístěno v havarijním řídicím středisku v bezprostřední blízkosti pracoviště havarijního štábu. Materiálně a technicky je vybaveno takto:

- Nadbloková technologická sběrnice LAN je soubor hardwarových komponent a programového vybavení, sloužící pro koncentraci technologických dat ze všech důležitých systémů JE Dukovany.
- Expertní systém na podporu rozhodování (ESPRO) v případě výskytu mimořádné události zabezpečuje na základě analýzy dostupných on-line technologických a radiačních dat výběr zdrojového členu pro systém RTARC (viz výše).
- Centrální Informační Systém Radiační Kontroly (CISRK) - stejný systém jako na pracovišti havarijního štábu.
- Teledozimetrický systém (TDS) – stejný jako na pracovišti havarijního štábu.
- Provozní kamerový systém (PKS) slouží řídícímu personálu k dálkovému audiovizuálnímu monitorování technologických zařízení v elektrárně a sledování servisních zásahů technického personálu. Během mimořádné události se účel rozšiřuje o možnost přímé audiovizuální komunikace mezi blokovou dozornou a pracovištěm technického podpůrného střediska.

13.3.3.4 Vnější havarijní podpůrné středisko

Vnějším havarijním podpůrným střediskem je laboratoř radiační kontroly okolí. Laboratoř radiační kontroly okolí zabezpečuje činnosti, spojené s radiačním monitorováním a hodnocením radiační situace, v zóně havarijního plánování. Na základě výsledků radiačního monitorování vypracovává prognózy dalšího vývoje radiační situace. Laboratoře s přístroji na vyhodnocování vzorků a vozidla pro monitoring a odběr vzorků jsou umístěny v Moravském Krumlově. Toto pracoviště je vybaveno:

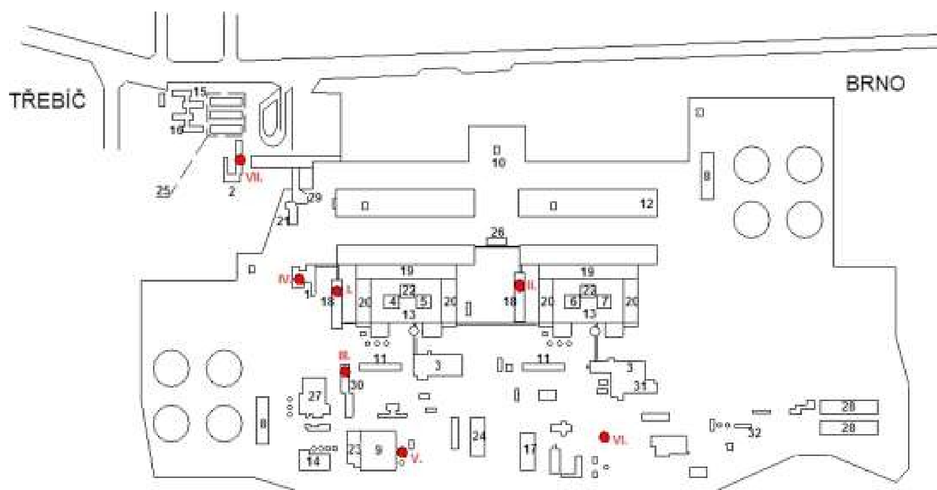
- Záložní výpočetní a komunikační technikou pro odesílání hlášení na vnější orgány.
- Záložní výpočetní technikou a SW pro získávání základní informace o stavu elektrárny.
- Diverzifikovanými spojovými prostředky (pevná linka, mobilní telefon, fax, radiostanice) pro spojení s JE Dukovany a ostatními vnějšími organizacemi.

V případě nemožnosti dostavení se personálu havarijního štábu a technického podpůrného střediska (zatarasení silnic, sněhová bouře, náledí apod.) má celý objekt laboratoře radiační kontroly okolí zálohu napájení řešenou pomocí vlastního dieselgenerátoru.

13.3.3.5 Kryty JE Dukovany

Pro personál JE Dukovany a pracovníky dodavatelských organizací jsou určeny kryty, umístěné v areálu elektrárny. Celková kapacita krytů je 2450 osob. Pro potřebu ukrytí lze počet osob uvnitř střeženého prostoru zjistit v libovolném okamžiku. Zjištění je možno provést i z pracoviště havarijního štábu. Každý kryt v JE Dukovany je vybaven zařízením, umožňující ochranu osob proti účinkům radioaktivních látek, otravných látek a biologického zamoření. Stavebně jsou tyto kryty koncipovány tak, že poskytují ochranu osobám proti účinkům pronikavé radiace. Technické vybavení krytu umožňuje jejich provoz minimálně po dobu 72 hodin.

Krytů je celkem 7 a jsou umístěny v objektech dle následujícího obrázku.



Obr. 142. Kryty v areálu JE Dukovany

V krytech je dostatečná zásoba hygienických potřeb dle kapacity krytů. Do všech krytů je přiveden vodovodní řad pitné vody. Ve všech krytech jsou instalovány nádrže s pitnou a užitkovou vodou (chlazení diesel-generátorové stanice). Dekontaminační sprchy v krytech jsou napojeny na pitnou vodu. Jako záložní zdroj je možné použít vodu z nádrží a omezené množství balené pitné vody.

Zásoba vody odpovídá spotřebě projektované kapacity osob na 3 dny. V tomto množství je zahrnuta pitná voda, užitková voda a voda na dekontaminaci osob. Nad rámec je v každém krytu doplněna zásoba balené pitné vody, která je periodicky obměňována před minimálním datem spotřeby.

Každý kryt v JE Dukovany je vybaven filtroventilačním zařízením, umožňující ochranu osob proti účinkům radioaktivních látek a jedovatých plynů. Kryty byly v roce 2013 doplněny o kyslíkovou regeneraci.

13.4 Posuzování a revize

13.4.1 Hodnocení podle stupnice INES

Pro vyhodnocení závažnosti provozních událostí je používaná stupnice INES. Stupnice INES (International Nuclear Event Scale)[36] slouží pro rychlé zhodnocení situace z pohledu bezpečnostní významnosti v jaderných zařízeních. Hodnocení slouží nejen pro komunikaci s veřejností a informačními médii, ale je i běžně používána v JE pro mezinárodní hodnocení událostí. Stupnice se používá pro všechny provozní události v jaderných zařízeních a události, které mohou nastat v průběhu transportu štěpných materiálů. Používání stupnice je monitorované IAEA. Podle stupnice INES jsou provozní události všeobecně rozdělené do kategorií:

- Bez vztahu k jaderné bezpečnosti - zařazené mimo stupnici.
- Bezpečnostně nevýznamné provozní události, odchylky od normálního provozu, hodnocené stupněm 0 - zařazené pod stupnici.
- Bezpečnostně významné provozní události, hodnocené stupněm 1 a vyšší, které se dále dělí na:
    - Nehody (*angl.:* Incidents), nebo odchylky (*angl.:* Anomalies), hodnocené stupni 1-3.
    - Havárie (*angl.:* Accidents), hodnocené stupni 4-7.

Definice jednotlivých stupňů INES je shrnuta v následující tabulce:

Tab. 50. Definice stupňů INES

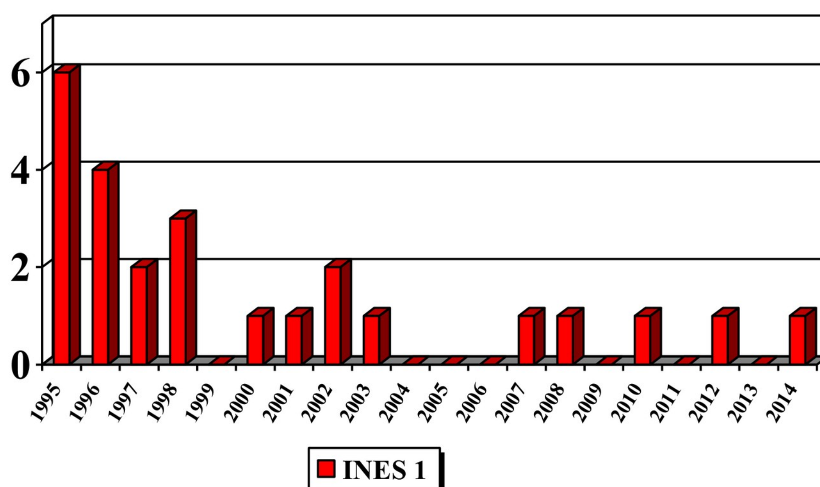
Stupeň	Název	Kritéria
7	Velká havárie	Únik velkého objemu RA látek do okolí. Následkem je akutní a opožděné poškození zdraví obyvatelstva na velkém území a poškození životního prostředí.
6	Vážná havárie	Únik RA látek do okolí. Takový únik pravděpodobně vyžaduje úplné využití havarijního plánu na zmírnění následků.
5	Havárie s ohrožením okolí JE	Únik RA látek do okolí, který vyžaduje částečné použití havarijního plánu na snížení následků. Vážné poškození zařízení. Událost může být způsobená explozí, požárem a provázená velkým únikem RA látek v rámci objektu JE.
4	Havárie bez významného ohrožení okolí JE	Únik RA látek do okolí JE, kterého následkem je ozáření osob mimo JE dávkou v rozmezí několik mSv. Při takovéto události není pravděpodobné, že budou použita všeobecná opatření. Významné poškození jaderného zařízení. Událost může zahrnovat částečné tavení AZ. Ozáření jednoho anebo více zaměstnanců, které může mít následek brzké úmrtí.
3	Vážná nehoda	Únik RA látek nad povolený limit, kterého následkem je ozáření osob mimo JE dávkou v rozmezí několika desetin mSv. Ochranné opatření pro okolí JE nemusí být nutné. Události provázené ozářením zaměstnanců JE dávkami dostatečnými na akutní poškození zdraví a události provázející rozsáhlou kontaminaci. Události, při kterých další poruchy bezpečnostních systémů mohou vést ke vzniku havárie.
2	Nehoda	Události s významným selháním ochranných bariér, s dostatečnou ochranou do hloubky (DiD) na zvládnutí dalších selhání. Událost, při které je zaměstnanec ozářený dávkou, která překročí roční povolený limit, anebo událost, při které se uvolní významné množství RA látek do objektu JE.
1	Anomálie	Provoz mimo povolený provozní režim. Událost může být společná poruchou zařízení, lidskou chybou anebo neadekvátním provozním postupem[37].

[36] INES the international nuclear and radiological event scale user's manual, IAEA, Vienna 2013

0	Odchylka	Bez bezpečnostní významnosti.

13.4.1.1 Hodnocení provozu JE Dukovany prostřednictvím stupnice INES

Za dosavadní dobu provozu JE Dukovany se pouze jedenkrát (v roce 1990) vyskytla událost, hodnocená stupněm 2. Detailní popis události je uveden dále. Události hodnocené vyšším stupněm zaznamenány nebyly. Poměrně pravidelně se vyskytují události, hodnocené stupněm 1, s četností přibližně výskytu 0,5 událost na reaktorový blok a rok.



Obr. 143. Počet událostí INES 1 na JE Dukovany

Počet událostí hodnocených dle mezinárodní stupnice INES stupněm 1 je v posledních letech na velmi dobré úrovni. Ve srovnání s ostatními elektrárnami ve světě lze považovat průměrně 1 událost INES1 za rok na 4 provozované bloky za vynikající výsledek.

V průběhu provozu JE Dukovany byla jedna událost hodnocena stupněm INES 2. K této události došlo 4. prosince 1990. K události byla přijata nápravná opatření a podobná událost se již nikdy neopakovala.

Jednalo se o výpadek bloků 1, 2 a 4 od poruchy vývodové linky 400 kV (blok 3 byl v té době odstaven pro výměnu paliva). K poruše došlo při funkčních zkouškách vyřazeného vývodu V485 chybnou činností pracovníků v rozvodně 400 kV ve Slavěticích. Chybnou manipulací došlo k propojení zazemněné části rozvodny (oprava) s provozovanou částí, přičemž působením ochran došlo k odpojení všech linek 400 kV mezi rozvodnou Slavětice a JE Dukovany. Vlivem působení ochran rozvodny došlo rovněž k výpadku rezervního napájení linkami 110 kV. Z důvodu ztráty vývodových linek i rezervního napájení tak byly odstaveny všechny pracující bloky prostřednictvím systému RTS a napájení vlastní spotřeby elektrárny přešlo na dieselgenerátory.

13.4.2 Šetření událostí a prevence nehod

Cílem procesu zpětné vazby z provozních zkušeností je přispívat k neustálému zlepšování bezpečného a spolehlivého provozu elektrárny a zabraňovat vzniku bezpečnostně významných událostí, především z opakujících se příčin. Zpětná vazba se provádí z vnitřních provozních událostí i zkušenostmi z vnějších zdrojů.

Vnitřní zpětná vazba pokrývá evidenci událostí, provádění analýz příčin těchto událostí, návrhy, přijímání a kontrolu plnění nápravných opatření s vyhodnocením jejich

[37] Takovéto anomálie by měly být oddělené od situací, kdy nejsou porušeny limity a podmínky, a které jsou zvládnuté adekvátními postupy. Tyto jsou hodnoceny stupněm 0.

účinnosti. Vnější zpětná vazba zahrnuje evidenci událostí z vnějších zdrojů, posuzování významnosti informace pro JE Dukovany, návrh případných preventivních opatření a uplatňování postupů takzvané nejlepší praxe.

Významným společným výstupem interní i externí zpětné vazby je předávání získaných zkušeností managementu elektrárny (periodické zprávy prezentované na poradě vedení JE Dukovany, divize Výroba, útvar Bezpečnost) a příslušným skupinám pracovníků vhodnými informačními cestami, především však na školících dnech.

13.4.2.1 Koncepce procesu zpětné vazby z provozních událostí

Proces zpětné vazby je postaven na aktivním prošetření příčin provozních událostí nebo jiných zjištěných nedostatků na vlastní elektrárně a na posouzení využití zkušeností z dalších elektráren ve světě. V procesu zpětné vazby je klíčové především stanovení kořenových příčin, implementace správných nápravných opatření, řešících kořenové příčiny, a sledování jejich účinnosti.

Koncepce zpětné vazby je založena na principech kultury bezpečnosti, na otevřenosti, důvěře a netrestání za neúmyslné chyby a selhání. Na neúmyslné chyby, pokud už k nim dojde, není pohlíženo jako na důvod ke znepokojení, ale spíše jako na zdroj užitečných zkušeností. Jednotlivci jsou povzbuzováni, aby zjišťovali, hlásili a napravovali nedokonalosti ve své vlastní práci, a tím aby pomohli vyhnout se případným budoucím problémům.

Prošetřování příčin provozních událostí je postaveno na týmové práci. Pracovníci, odpovědní za zpětnou vazbu z provozních událostí, vykonávají veškeré činnosti spojené s evidencí, sběrem podkladů, analýzami příčin, přípravou poruchové komise a další. Do procesu jsou však zásadní měrou zapojeni i další pracovníci ze všech specializovaných – odborných útvarů na JE Dukovany, případně centrálních útvaru divize výroba a dodavatelských organizací. Proces šetření příčin událostí a přijímání nápravných opatření je tím urychlován. Z těchto specialistů, kteří jsou pravidelně proškolování z technik šetření příčin událostí, jsou v případě potřeby sestavovány speciální šetřící týmy (skupiny). Tito specialisté jsou využíváni i v procesu hodnocení a posuzování externích zkušeností (událostí).

Pro zjišťování kořenových příčin jsou využívány obecně uznávané metodiky ASSET, HPES, případně další. Pro hodnocení bezpečnostní významnosti provozních událostí je užívána stupnice INES, významnost je konzultována i z hlediska PSA, garantem výsledného hodnocení je SÚJB. Provozovatel jeho hodnocení respektuje.

Závěry šetření jsou pravidelně předkládány poruchové komisi JE Dukovany. Poruchová komise je ustavena jako poradní orgán ředitele JE Dukovany pro určování příčin, nápravných opatření a závěrů k šetření událostí v elektrárně a její závěry (hodnocení a určená nápravná opatření) jsou závazná pro všechny subjekty, které se na činnostech v JE Dukovany podílí.

Pro urychlenou analýzu nejzávažnějších provozních událostí a neodkladné přijetí potřebných nápravných opatření k zabránění jejich opakování je určena mimořádná poruchová komise JE Dukovany, která slouží k rychlému prvotnímu posouzení události a stanovení rychlých nápravných opatření. I událost, která byla projednána mimořádnou poruchovou komisí, je následně šetřena standardním způsobem, a po došetření projednána řádnou poruchovou komisí.

13.4.2.2 Vnitřní zpětná vazba

V systému sledování rozlišujeme podle bezpečnostní významnosti tyto skupiny událostí:

- Významné události (V)
- Méně významné události (LLE)
- Near-Miss (NM)

U významných událostí se provádí detailní analýza, stanovuje se přímá a kořenová příčina, navrhují se nápravná opatření, provádí jejich evidence a sleduje jejich plnění. Poruchová komise potvrzuje kořenovou příčinu, nařizuje navržená nápravná opatření a kontroluje jejich plnění. Událost, navržená na INES 0 nebo více, je vždy kategorizována jako významná.

U méně významných událostí se neprovádí detailní analýza události. Podle typu zařízení se událost postupuje příslušnému odbornému útvaru (nositeli problému), do jehož kompetence s převahou spadá příslušná problematika. U těchto událostí se nemusí určit kořenová příčina a neprojednávají se na poruchové komisi, nicméně komise je o nich informována a může nařídit překlasifikaci události na významnou. Plnění nápravných opatření je však sledováno a v případě jejich neplnění je informována poruchová komise.

Jako nejméně závažné události jsou neshody typu Near-Miss, které jsou okamžitě napraveny a dále jsou pouze sledovány, klasifikovány a v případě kumulace typově podobných neshod, které mohou svědčit o nedostatku v systému řízení elektrárny, je zahájeno šetření kořenové příčiny a přijata nápravná opatření.

Pro nahlašování vybraných kategorií (typů) událostí na SÚJB a na příslušná další ohlašovací místa či organizace jsou stanovena kritéria. Kritéria postihují jak oblast radiačních událostí, tak i bezpečnostní významnost provozních událostí[38]. Podle stanovených kritérií se ke zvlášť bezpečnostně významným událostem svolává mimořádná poruchová komise. Ostatní bezpečnostně významné události jsou šetřeny buď zrychleným způsobem (svolání šetřící skupiny, pokud je nutno přijmout neodkladná opatření) nebo běžným postupem. K šetření jsou dle zákona č.18/1997 (Atomový zákon) přizváni i inspektoři SÚJB. Všechny tyto události jsou nakonec projednány s potvrzením příčin a přijetím závazných nápravných opatření na poruchové komisi, která svým závěrem nařídí jejich plnění.

13.4.2.3 Vnější zpětná vazba

JE Dukovany je aktivně zapojena do mezinárodních organizací, sdružujících provozovatele jaderných elektráren ve světě, a má navázány kontakty pro přímou spolupráci s několika elektrárnami v Evropě. To umožňuje aktivní a efektivní výměnu provozních zkušeností s jinými provozovateli. Celkově je systém zaměřen na 5 základních programů:

- Zpracování zpráv o vnějších provozních událostech (WANO-WER, IAEA-IRS)
- Poskytování informací o událostech na jaderných elektrárnách ČEZ, a.s. do sítě WANO
- Zpracování zpráv a doporučení SOER (reportů a zpráv z událostí ve světě).
- Přímá výměna informací mezi provozovateli (JE Bohunice, JE Mochovce, JE Paks atd.)
- Dobrá praxe, JIT informace.

Hlavním úkolem vnější zpětné vazby je přenos a využití provozních zkušeností a technických informací provozovatelů jaderných elektráren do praxe jaderných elektráren ČEZ, a. s. Všechny získané relevantní informace ze zdrojů WANO, INPO, IAEA (ale i dalších zdrojů) jsou zaevidovány a rozeslány odborným útvarům k seznámení (Události pro informaci) nebo k posouzení a rozboru (Události k dalšímu využití). Posouzeným externím informacím jsou případně na základě posudku přiřazena nápravná opatření (školení, zapracování do řídící a provozní dokumentace nebo technické změny), která jsou dále sledovaná poruchovou komisí JE Dukovany. S nejvýznamnějšími událostmi na zahraničních elektrárnách je prostřednictvím školících dnů přímo seznamován příslušný personál.

[38] Například ihned nebo nejpozději do 8 hodin od zjištění události musí být informován SÚJB o zapůsobení systému odstavení reaktoru RTS, nedodržení limitů a podmínek pro normální provoz, tlakovém úniku primárního chladiva nebo o jakékoli události, hodnocené směnovým personálem stupněm INES 2 a vyšším.

13.4.3 Hodnocení lidského faktoru

V rámci provádění analýz provozních událostí, u kterých byl v procesu šetření identifikován vliv lidského činitele při výkonu anebo řízení činností, se provádí rozbor chování člověka a jeho příspěvek k průběhu provozní události. Postup provádění analýzy vlivu lidského výkonu vychází z techniky HPES, založené na principu „není účelem trestat viníky“, naopak je nutné vytvořit atmosféru pro otevřenou komunikaci pro došetření příčin nevhodného chování pracovníka. Zjištěné příčiny nevhodného chování pracovníka jsou chápány jako přínos k dalšímu zlepšování spolehlivosti a bezpečnosti provozu jaderné elektrárny.

Při hodnocení chování člověka je třeba pracovat s přirozenou lidskou reakcí na vnější podněty. Použití slova „chyba“ při popisu událostí, souvisejících s činností personálu, s sebou přináší následující problémy, které je třeba řešit:

- Termín „chyba“ implikuje selhání na straně jednotlivce, i když tento jednotlivec mohl být pod vlivem okolností nebo podmínek, které se vymykaly jeho kontrole.
- Předpoklad, že lidé mohou vždy plnit úkoly bez chyb je nesprávný. Lidé ve skutečnosti nejsou stvořeni k plnění některých úkolů s vysokým stupněm spolehlivosti a ani to nelze očekávat. Lidé nejsou stroje.
- Řízení činností, prováděné vedoucími pracovníky elektrárny, není vždy dokonalé a nemusí dostatečně nebo vhodně působit na minimalizaci rizika a umožňovat lidem, aby podávali dobré výkony.
- Přirozená tendence při použití slova „chyba“ je obviňovat. Obviňování brání poučení se, a znemožňuje stanovit příčinu nebo způsob, jak se příště takové události vyhnout.

Z těchto důvodů je slovo „chyba“ nevhodné v rámci vyšetřování vlivu lidského činitele. Slovo „chyba“ by mělo být nahrazeno termínem „nevhodný zásah“, který přesněji vystihuje situaci. Je to dostatečně zdůvodněno, protože lidé nedělají chyby záměrně.

Pokud je v běžném procesu šetření příčin události zjištěn podíl lidského činitele, je vyplňován formulář lidského výkonu, ve kterém konkrétní pracovník odpovídá společně se svým přímým nadřízeným na otázky, zaměřené k důvodům jeho nevhodného chování a co všechno k tomu přispělo. V tomto formuláři se například vyplňuje funkce, délka praxe na dané funkci, zda pracoval na kmenové či záskokové směně, stav bloku, příčiny selhání lidského činitele, zda byla činnost vykonávaná poprvé, jakým způsobem k selhání přispěla dokumentace a další informace, které by pomohly k navržení nejúčinnějších nápravných opatření.

Vyhodnocením těchto dat v ročních zprávách jsou získány trendy a statistiky a lze navrhovat další obecnější opatření ke snižování počtu lidských chyb. Statisticky jsou sledovány různé profesní skupiny pracovníků, ranní, směnový provoz a také dodavatelé. Přibližně 30 charakteristik (indikátorů) je průběžně sledováno a průběžně vyhodnocováno.

13.4.4 Systém řízení životnosti zařízení JE Dukovany

Základní cíle řízení životnosti jsou udržovat požadovanou úroveň bezpečnosti a výkonnosti bloku, optimalizovat provoz, údržbu a dobu životnosti systémů zařízení, konstrukcí a komponent pro plánovanou dobu života elektrárny.

Řízení životnosti zařízení musí:

- Umožnit včasnou detekci příčin a zmírnění následků stárnutí na zařízení důležitá pro bezpečnost a provozuschopnost elektrárny.
- Připravovat podklady pro optimální využití životnosti zařízení.
- Dokumentovat dozorným orgánům zachování bezpečnostních rezerv a zbytkovou životnost rozhodujících zařízení a komponent bloku.

- Optimalizovat program preventivní údržby tak, aby podporoval řízené stárnutí kritických zařízení.
- Stanovit harmonogram výměny (modernizace) zařízení, které není vhodné dále provozovat z bezpečnostních, ekonomických případně jiných vážných důvodů.
- Umožnit prodloužení provozu systémů, zařízení, komponent a konstrukcí za původní projektovou životnost při současném zajištění bezpečnosti provozu elektrárny (program Long Term Operation - LTO).

Řízení životnosti je základním posláním péče o majetek. Životnost je řízena, případně sledována, na základě odstupňovaného přístupu, na všech zařízeních elektrárny. Zařízení jsou rozdělena do tří kategorií z hlediska bezpečnostní, technologické a ekonomické důležitosti se zohledněním dlouhodobé strategie dalšího provozu JE Dukovany. Pro každou kategorii jsou nastaveny principy a způsob řízení životnosti diferencovaně.

13.4.4.1 Členění zařízení z pohledu řízení životnosti

Zařízení je z pohledu řízení životnosti členěno do tří kategorií na:

- Kategorie 1 - kritická zařízení
- Kategorie 2 – nekritická zařízení
- Kategorie 3 – nedůležitá zařízení

Kategorie 1 jsou zařízení, která jsou kritická z pohledu dlouhodobé životnosti a bezpečnosti výrobního bloku a pro které je třeba zajistit řízené stárnutí. Zachování plnění bezpečnostní funkce je u nich dáno jejich integritou a jejich případné selhání je z pohledu bezpečnosti nepřípustné. Díky jejich povaze nelze řídit životnost na základě sledování spolehlivosti. Do této kategorie spadají zařízení, která jsou definována jako Kategorie 1 skupina A, a která:

- Plní funkci zajištění integrity hranice tlakového okruhu chladiva reaktoru, jedná se tedy o pasivní zařízení, tvořící hranici tlakového celku primárního okruhu (dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. Jsou zařazená do BT1 a současně jsou to vybraná zařízení zvláštní důležitosti dle vyhlášky SÚJB č. 309/2005 Sb.).
- Plní funkci zamezení úniků z kontejnmentu, jedná se o ocelové vystýlky a železobetonovou část stavby, vymezující hermetický prostor, zařazené dle vyhlášky SÚJB č. 309/2005 Sb., § 3, odst. 1, pod písmeno d.
- Jsou určena jako obtížně vyměnitelná, respektive nákladově významná, u kterých porucha přináší nepřijatelné ztráty ve výrobě.

Dále do Kategorie 1 patří zařízení, u nichž lze případné selhání funkčnosti v určitých případech připustit, ale u nichž je třeba sledovat a zmírňovat dopady stárnutí. Tato zařízení podléhají výměnám na základě sledování spolehlivosti, výkonnosti a stavu, případně periodickým výměnám nebo výměnám na základě kvalifikace zařízení pro okolní prostředí, seismicitu nebo EMC.

Kategorie 2 jsou zařízení, jejichž selhání je akceptovatelné z hlediska bezpečnosti a výroby, avšak která nelze provozovat do poruchy.

Kategorie 3 jsou zbývající zařízení, u nichž ztráta funkce nevede k bezpečnostním problémům nebo výrobním či ekonomickým dopadům a lze je pouze sledovat a provozovat do poruchy.

13.4.4.2 Principy řízení životnosti pro jednotlivé kategorie

Pro zařízení Kategorie 1 skupina A je uplatněn princip řízení životnosti na základě zpracovaného individuálního programu řízení životnosti. U těchto zařízení se řídí příčiny degradace (technologické parametry jako tlaky, teploty, průtoky, chemický režim atd.) a kontrola následků degradace probíhá nedestruktivním testováním, měřením a diagnostikou. Jedná se zejména o sledování těchto degradačních mechanismů:

- Únava materiálu vlivem cyklického zatížení.
- Koroze (důlková koroze, korozní praskání při neproměnném zatížení, korozní únava při náhodném opakovaném zatěžování).
- Koroze urychlená prouděním.
- Únavový růst trhlin potenciálně přítomných v materiálu, vyvolaný cyklickým zatížením.
- Radiační poškození.
- Stárnutí materiálu za zvýšených teplot.
- Creepové poškození.
- Eroze materiálu.

Účelem sestaveného programu řízení životnosti pro konkrétní zařízení je stanovit příčiny konkrétních degradačních mechanismů prostřednictvím kontroly a posouzení působících příčin degradace na základě pravidelného rozboru provozní diagnostiky a posouzení detekovaných provozních lokálních zatížení. Účelem programu je pak omezení vlivu degradačních mechanismů pomocí optimalizace provozních režimů, úpravou nebo záměnou komponent atd. Na sestavovaný program řízení životnosti jsou kladeny tyto požadavky:

- Zavedení monitoringu následků degradačních mechanismů pomocí redundantních nebo diverzních opatření k omezení následků při selhání komponenty.
- Dokladování stavu čerpání životnosti (určení zbytkové životnosti) ve formě protokolů a výstupů z Programů řízení životnosti a dokladování účinnosti Programu řízeného stárnutí.
- Posouzení vlivu skutečného provedení na projektové průkazy pevnosti, životnosti a seizmické odolnosti (průkaz aktuálnosti průkazné dokumentace).
- Uplatňovat zkušenosti z provozování elektráren stejného typu.
- Zajistit sledování stavu znalostí z oblasti vědy a techniky.
- Zajistit průkaz vyloučení systematické chyby.

Pro zařízení Kategorie 1, nezařazených do skupiny A a u zařízení Kategorie 2 je uplatněno řízení životnosti na základě sledování výkonnosti a stavu. U těchto zařízení se sledují a zmírňují následky degradace pomocí metod preventivní údržby. Pro sledování a zmirňování následků degradace tedy slouží sledování výkonnosti a stavu a program preventivní údržby, jehož účelem je včas před selháním komponenty stanovit potřebná opatření k udržení požadované kvality nebo ve výjimečném případě po selhání komponenty požadovanou kvalitu znovu obnovit. Přitom za selhání nelze považovat jen ztrátu integrity, ale také nedostatečnou funkci nebo nedovolený únik média. Program preventivní údržby obsahuje následující kombinaci nástrojů:

- Provozní dohled.
- Provozní zkoušky a testy.
- Provozní kontroly (NDT, defektoskopie, diagnostika, chemie, speciální kontroly atd.)
- Revize a inspekce zařízení.
- Preventivní opravy.
- Technickou diagnostiku.
- Další údržbářské činnosti.

Ve vhodných případech jsou využívány nástroje pro včasné zjištění důsledků degradace provozních nebo technických parametrů, takzvaná prediktivní údržba s využitím vhodných standardních diagnostických metod. Stav zařízení je určován prostřednictvím sledování výkonnosti, trendů poruchovosti (spolehlivosti), udržovatelnosti zařízení a vyhodnocováním výsledků preventivní údržby, případně na základě predikce (u prediktivní údržby). Pro řízení životnosti zařízení je v tomto případě využívána forma periodického hodnocení výkonnosti a stavu systémů a zařízení (tzv. health-reportů).

Na životnost zařízení Kategorie 3 nejsou stanoveny žádné zvláštní požadavky a zařízení lze provozovat do poruchy. Případná jednoduchá preventivní údržba nebo výměna zařízení je posuzována z hlediska ekonomické výhodnosti oproti opravám po

poruše. Pro tato zařízení se nestanovuje žádný specifický program údržby zohledňující požadavky na řízení životnosti. Stav zařízení je sledován prostřednictvím vyhodnocování udržovatelnosti a nákladovosti zařízení.

13.4.5 Systém řízení stárnutí JE Dukovany

Stárnutí zařízení je děj, který v závislosti na čase provozu anebo četnosti používání mění fyzikální charakteristiky zařízení jaderné elektrárny. Řízení stárnutí zařízení jaderné elektrárny, důležitých pro bezpečnost, představuje určení (predikcí a/nebo detekcí), kdy vlastnosti těchto zařízení degradují na limitní hodnoty kritérií přípustnosti. Kritéria přípustnosti vycházejí z projektu elektrárny a nepřekročení limitních hodnot kritérií přípustnosti dává ujištění, že za provozu elektrárny nejsou čerpány bezpečnostní rezervy.

Pro zavedení pojmů jsou použity následující definice[39]:

- Bezpečnostní rezerva je vzdálenost mezi kritériem přípustnosti a bezpečnostním limitem. Jestliže je kritérium přípustnosti splněno, jsou dostupné bezpečnostní rezervy zachovány.
- Bezpečnostní limit je kritická hodnota parametru (charakterizujícího chování zařízení) spojeného s poruchou zařízení.

Proces řízení stárnutí zařízení zahrnuje tři základní kroky:

- Výběr zařízení jaderné elektrárny, pro které by mělo být stárnutí hodnoceno.
- Porozumění dominantním dopadům/mechanizmům stárnutí zařízení, vybraných v předchozím bodě, a nalezení nebo vyvinutí účinných a použitelných metod pro monitorování a zmírňování dopadů jejich stárnutí.
- Řízení degradace vlastností vybraných zařízení, způsobených stárnutím, pomocí realizace účinných opatření v oblasti provozních kontrol, údržby a řízení provozu.

13.4.5.1 Řízené stárnutí na JE Dukovany

Řízené stárnutí je na JE Dukovany řízeno prostřednictvím programů řízeného stárnutí (PŘS). Programy řízeného stárnutí jsou libovolné programy, popisující důležité činnosti pro řízení stárnutí. Podmnožinou těchto programů jsou tzv. specifické programy řízení stárnutí, popisující činnosti, důležité pro řízení stárnutí pro konkrétní degradační mechanismus, respektive dopad stárnutí. Programy jsou koncipovány buď pro specifický degradační mechanismus (případně činnost) nebo pro zařízení (případně skupinu zařízení). Volba přístupu záleží na následném praktickém používání.

Praktické provedení programů řízení stárnutí resp. životnosti je naplněno komponentními programy řízení stárnutí (vázanými na skupinu zařízení) a jsou zpracovány pro zařízení kategorie 1 skupiny A jako technické standardy. V programech řízení stárnutí (technických standardech) jsou zpracovány tyto požadavky:

- Specifikace zařízení je provedena na základě Registru zařízení JE Dukovany.
- Je specifikována výchozí dokumentace, použitá pro tvorbu programu.
- Je provedeno členění zařízení, relevantní k zajištění řízení stárnutí.
- Jsou uvedeny funkce zařízení sledované Programem, tj. funkce, jejichž selhání by mělo dopad do bezpečnosti provozu.
- Jsou uvedeny degradační mechanizmy / dopady stárnutí (prokázané, potenciální), které mohou ovlivnit sledované funkce zařízení.
- Jsou definována kritéria přípustnosti (parametry), umožňující s ohledem na určené limitní hodnoty a hodnoty aktuálně dosažené, hodnotit stárnutí zařízení (aktuální, predikovaný stav) a navrhnout včas nápravná opatření k zajištění bezpečného provozu zařízení.
- Je definován přístup k hodnocení jednotlivých kritérií přípustnosti (parametrů) a přístup k celkovému hodnocení stárnutí zařízení.

[39] Definice z Bezpečnostního návodu SÚJB BN-JB-2.1

- Je definován postup implementace Programu do procesů péče o zařízení a požadovaná podpora informačních systémů.

13.4.5.2 Rozsah zařízení pro řízené stárnutí a sledovaná data

Sledování a hodnocení stárnutí je zajišťováno pro zařízení:

- Kategorie 1 skupiny A, v souladu s definovaným programem řízení stárnutí (komponentním programem řízeného stárnutí). Výstup, hodnotící stárnutí zařízení, je obsažen v Periodickém hodnocení životnosti.
- Kategorie 1 (mimo skupinu A) a 2, pro které je určeno zajistit sledování a hodnocení stárnutí na základě definovaných specifických programů řízeného stárnutí. Jsou to zpravidla ta zařízení, pro které nelze sledování a hodnocení stárnutí zajistit na základě sledování výkonnosti a stavu technologických systémů a zařízení JE Dukovany.
- Bezpečnostně významná zařízení (vybraná zařízení dle vyhlášky SÚJB č.132/2008 Sb.), pro která dokumentace, závazná k jejich provozu, omezuje životnost těchto zařízení časem (PTDTLL), nebo obsahuje časově omezené předpoklady stárnutí zařízení (TLAA).

Na těchto zařízeních se sledují následující degradační mechanismy: nízkocyklová únava, radiační křehnutí, erozně-korozní poškozování, radiačně-tepelné stárnutí, korozní praskání pod napětím a vysokocyklová únava.

Pro realizaci programů řízeného stárnutí (jak specifických tak komponentních), jsou zajišťovány relevantní informace z programů, realizovaných napříč procesy JE Dukovany, jejichž výstupy poskytují relevantní informace pro sledování a hodnocení stárnutí, dále z realizace programů řízeného stárnutí, účelově definovaných pro zajištění těchto informací (např. fluence neutronů, počty pracovních cyklů) a z evidence provozních přechodových režimů. Sledování provozních režimů je zpracováno do konkrétního přehledu pro jednotlivé části reaktorového bloku (např. zvláště pro každou cirkulační smyčku) a pro různé velikosti změn provozních parametrů (např. tlakových cyklů). Principiálně jsou však sledovány:

- Plynulá najetí a odstavování bloku včetně počtu přechodů mezi režimy dle limit a podmínek (viz kap. Error: Reference source not found).
- Tlakové zkoušky primárního okruhu i jednotlivých cirkulačních smyček.
- Rychlé změny výkonu reaktoru, spojené s výpadky turbogenerátorů a abnormálním provozem.
- Výkonové změny reaktoru, prováděné s různou rychlostí a rozsahem.
- Změny teploty napájecí vody do parogenerátorů (odpojená vysokotlakých ohříváků za provozu bloku).
- Odstavení a náběh jednotlivých hlavních cirkulačních čerpadel.
- Zkoušky pojistných ventilů parogenerátorů přetlakem.
- Roztěsnění a utažení hlavních dělicích rovin důležitých komponent primárního okruhu.
- Všechny abnormální a přechodové provozní stavy včetně archivace technologických parametrů.

Všechny provozní režimy jsou na jednotlivých reaktorových blocích sledovány samostatně tak, aby byla dostupná informace o provozním zatížení konkrétní komponenty.

13.4.6 Nezávislé posuzování a sebehodnocení

Cílem nezávislého posuzování je mít zavedené a účinné zjišťovací i ověřovací postupy v procesech s vlivem na bezpečnost JE Dukovany, ze kterých vyplývá, zda byly splněny požadavky na položky a zda prováděné procesy jsou přijatelné a efektivní. Bezpečnostní význam nalezených problémů se posuzuje podle jejich dopadu na projekt jaderné elektrárny a její provoz ve smyslu bezpečnostní koncepce a principů, jako je ochrana do hloubky a kultura bezpečnosti. Posuzování se stalo částí jakéhokoliv procesu

oceňování bezpečnosti a je široce aplikované téměř ve všech aspektech na činnosti umisťování, projektování, výstavbu a provoz jaderné elektrárny, respektive i z hlediska pojištění za jaderné škody.

Sebehodnocení je systematická a plánovitá aktivita, která poskytuje liniovým vedoucím na všech stupních řízení, projektovým manažerům a garantům procesů informaci o stavu systémů, projektů a procesů a o příležitostech k efektivnímu zlepšení jejich výkonnosti. Při sebehodnocení je hodnotitel zároveň osobou odpovědnou za hodnocenou oblast, resp. osobou zabezpečující výkon hodnocené činnosti.

Posuzování je součástí kontrolního systému. Kontrolní systém se týká zejména níže uvedených činností.

- Kontrolní činnosti v oblasti životního prostředí.
- Pochůzková kontrola vedoucích zaměstnanců - získání aktuálních informací o funkčnosti a účinnosti kontrolního systému na JE Dukovany.
- Společná kontrola vedoucích zaměstnanců (manažeři útvarů, vedoucí odborů, vedoucí útvarů, vedoucí oddělení, vedoucí skupin a mistři).
- Systémové kontroly - posouzení, zda je celkové úsilí zaměřeno na dosahování strategických cílů.
- Samokontrola - kontrola práce dle specifikovaných pravidel tím, kdo práci vykonává.
- Nezávislé ověřování - probíhá na všech úrovních vedení JE Dukovany. Je zaměřeno na plnění předpisů nebo nařízení.
- Interní nezávislé hodnocení systému řízení u činností, důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany (viz vyhláška SÚJB č. 132/2008 Sb.).

13.4.6.1 Zásady nezávislého posuzování

Jako druhy nezávislého posuzování lze uvést interní audity, externí (zákaznické) audity, dozor, vyhodnocení externími experty a technické přezkoumání. Výsledky nezávislého posuzování jsou ověřovány v souladu s písemnými kritérii. Podobně i dozor nebo audity jsou objektivně vyhodnocovány porovnáním s požadavky norem a specifikovaných kritérií.

Vyhodnocení externími experty mohou být více subjektivní, protože jsou založeny na porovnávání skutečností s ověřenými zkušenostmi a názory experta. Výsledky takového vyhodnocení posuzuje vedení jaderné elektrárny předtím, než se rozhodne pro realizaci nápravných opatření.

Posuzování je zaměřeno k programům zabezpečování jakosti, tedy k odpovědné organizaci držitele povolení (zákona č. 18/1997 Sb.). S ohledem na význam programů zabezpečování jakosti pro dosahování akceptovatelné úrovně bezpečnosti se přihlíží k současnému vývoji koncepce bezpečnosti ve světě a platí kritéria, že:

- Základní bezpečnostní principy byly aplikovány s požadavky bezpečnostních standardů v době projektování (s původními podklady pro licencování), a že JE Dukovany pokračuje v plnění těchto provozních standardů během provozní životnosti.
- Současné standardy a postupy, aplikované na provozovaných jaderných elektrárnách, jsou východiskem pro identifikaci rozdílů, pojmenovaných „safety issues“, tedy bezpečnostními odchylkami, které se přiměřeně posuzují jako významné i pro bezpečnost JE Dukovany.
- Od počátečního licencování je bezpečnost JE Dukovany prokazována podle požadavků národních předpisů, existujících v daném období, s tím, že se během životnosti projekt a provoz jaderné elektrárny mění jako reakce na bezpečnostní, provozní a ekonomické potřeby. Držitel povolení však odpovídá za to, že jsou systémy JE Dukovany provozovány bezpečně, jsou plněny projektové standardy i doplňované licenční požadavky.
- Úřad státního dozoru je odpovědný za revidování národních předpisů, standardů a licenčních požadavků ve vztahu k Atomovému zákonu a za

vyžadování prokazatelného adekvátního plnění bezpečnostních cílů i souvisejících požadavků a povinností provozovatelem.

13.4.6.2 Postup při provádění nezávislého posuzování

Provádění postupů nezávislého posuzování vychází z plánování posouzení, přihlížející k těm činnostem organizace, které ovlivňují bezpečnost a k frekvenci i výsledkům dřívějších posuzování. Rozsah posouzení se omezuje jen na některé průřezové činnosti a výsledky útvarů organizace nebo se zaměřuje na všechny činnosti a výsledky jediného útvaru. Plánuje se i kombinace obou metod. Pro každé posouzení se zpracuje individuální plán, který identifikuje účel posuzování a důležitost vlivu na bezpečnost při odstupňování priorit. Plán je pomůckou usnadňující posuzovateli aby měl jasně na mysli cíle posouzení. Plán posouzení schvaluje odpovědný management organizace.

Posuzování se zaměřuje na pozorování činností, které se skutečně provádějí. Mnohé z činností je možno efektivně vyhodnotit právě až po důkladném sledování jejich průběhu. Posuzovatel rovněž pohovoří s personálem a prozkoumá ukončené pracovní činnosti a doklady. Pro činnosti, které v době posuzování neprobíhají, by se mělo rozhodnout, zda tyto činnosti nemají být posouzeny později. Při posuzování různých činností má posuzovatel sledovat následnost operací a tam, kde má podezření, musí zaměřit pozornost na podrobnosti. V případě, že se v průběhu posouzení zjistí nějaký nedostatek, zaměří se posuzovatel na jiné podobné činnosti, aby zjistil povahu a rozšíření problému (např. zda se neprojevuje v celé organizaci). Jestliže vyjde najevo možnost neshody s požadavky, musí posuzovatel zjistit, zda o nich ví vedení a zda bylo něco učiněno pro nápravu. Pokud během posuzování vyjde najevo, že určitá situace vyžaduje okamžitou pozornost, posuzovatel seznámí bez prodlení s touto situací vedení.

Posuzovatel analyzuje a zvažuje příčiny zjištění možných neshod, aby mohl vyhodnotit navrhovaná nápravná opatření. Výsledné závěry z posouzení pak obsahují popis neshody s přesným vymezením požadavků. Posuzovatel rovněž zdůrazňuje dobré provozní výsledky a označí ty oblasti, ve kterých lze něco zlepšit. Výsledky posouzení jsou prodiskutovány v týmu pověřeném posouzením tak, aby si členové týmu sladili výsledky a mohli si být jisti, že výsledky jsou použitelné a aby se pokusili najít typové problémy.

Výsledky posuzování jsou zaznamenány a jasně hlášeny co nejdříve. Ve zprávě jsou uvedeny závěry posuzovatele takovým způsobem, aby význam těchto závěrů byl zjevný. Zprávy mají být efektivní, jsou předány v konečné podobě tak rychle, jak je to možné a je-li třeba, se zdůrazněním vybraných problémů k identifikovaným položkám.

Posuzovaná organizace (útvary elektrárny nebo dodavatelů) přezkoumají výsledky posouzení, aby se rozhodlo o nápravných opatřeních a o časovém plánu jejich realizace. Také se musí připravit písemná odpověď v daném termínu. Plán nápravných opatření i časový harmonogram jejich provedení musí odpovědné vedení prodiskutovat s vedoucím týmu, aby bylo jisté, že nápravná opatření budou přiměřená. Posuzovaná organizace má ohlásit posuzující organizaci dosažený pokrok v nápravných opatřeních tak, aby i nejvyšší vedení bylo seznámeno se stavem nápravných opatření a jejich řešením. Posuzující jednotka obvykle ověří splnění nápravných opatření. Posouzení je ukončeno po ukončení všech nápravných opatření.

13.5 Provozní předpisy a postupy

Všechny činnosti, které jsou prováděny na JE Dukovany, musí být popsány soustavou řídicí dokumentace, provozních předpisů pro všechny úrovně DiD, dokumentů jednorázového nebo dočasného charakteru pro specifické činnosti a odchylky a průběh všech činností a rozhodnutí musí být řádně dokumentován. Za tímto účelem je vytvořen celý systém dokumentace, která musí být schválená kompetentní osobou, aktuální a dostupná všem zaměstnancům, kteří daný dokument pro svoje činnosti potřebují.

13.5.1 Strategické a řídicí dokumenty

ČEZ, a. s. jako společnost, provozující jaderné elektrárny, je řízena pomocí soustavy řídicích dokumentů. V těchto dokumentech jsou definovány návazné činnosti (procesy), pravomoci a odpovědnosti jednotlivých aktérů v procesech, zpravidla managementu. Soustava dokumentace se skládá z:

- **Strategických dokumentů** (stanovy, vize, strategie, politiky, dokumenty orgánů společnosti)
- **Řídicích dokumentů** (dokumenty, které jsou nástrojem řízení strategického a vyššího managementu, respektive projektových manažerů), což jsou:
  - Operativní řídicí dokumenty (příkaz), které obsahují časově omezené požadavky či postupy, rozhodnutí a ukládají úkoly v liniové, procesní nebo projektové struktuře.
  - Procesní řídicí dokumenty (nařízení, pravidla, směrnice, postupy), které popisují, jak se řídí systém, útvar, skupina procesů, projekt či proces. Stanovují odpovědnosti a delegují pravomoci shora dolů.
  - Dokumenty pro řízení projektů (plán managementu projektu, metodika projektu) jsou dokumenty závazné a řízené v rámci jednotlivého projektu. Dokumenty projektu nemusí být identifikačně nebo hierarchicky provazovány s ostatními dokumenty systému řízení a mohou být řízeny samostatně.
- **Regulačních dokumentů**, což jsou dokumenty, stanovující omezení, požadavky a doporučení na procesy, činnosti, projekty, zdroje, systémy, technologie a zařízení (dokumenty typu standard a technický standard). Slouží také k převodu vnějších požadavků (legislativy, norem a mezinárodních doporučení) do vnitřního prostředí právního subjektu.
- **Pracovních dokumentů** (metodika, provozní řád, dopravní řád, výcvikový program, popis kvalifikace, dokumenty pro poskytování služeb, provozní dokumenty, dokumenty o zařízení, atd.), což jsou dokumenty, které popisují provádění jednotlivých činností nebo popisují používané technologické zařízení do přiměřené úrovně podrobnosti. Pracovní dokumenty obvykle provazují pracovní výkon pracovníka s použitými technologiemi. Pracovní dokumenty se uplatňují v procesech i v projektech.
- **Pracovních výstupů** (dokumenty k prokazování, projektová dokumentace, záznamy, výkresy, smlouvy, korespondence atd.)

Pravomoc schvalovat (podepisovat) dokumenty vychází ze zásad řízení a přísluší obecně té úrovni managementu, která buď přímo řídí svůj pracovní kolektiv (operativní řídicí dokumenty, řídicí dokumenty pro řízení projektů, strategické dokumenty, pracovní dokumenty, pracovní výstupy), nebo funkčně (odborně a průřezově) řídí příslušný proces (činnosti) a má v této oblasti pravomoc rozhodovat s konečnou platností (procesní řídicí dokumenty, regulační dokumenty).

V systému řízení dokumentů jsou respektovány následující zásady:

- Dokumenty jsou zpracovány v souladu s platnými právními předpisy a jinými vnějšími předpisy, které jsou pro společnost ČEZ, a. s., závazné.
- Návrhy dokumentů podléhají připomínkovému a schvalovacímu řízení.
- S vydanými dokumenty, kterými se má zaměstnanec řídit, musí být prokazatelně seznámen.
- Texty dokumentů jsou dostupné zaměstnancům v elektronické podobě.
- Vydané dokumenty podléhají pravidelným i mimořádným kontrolám potřebnosti a aktuálnosti.

Pro systém řídicích dokumentů je ve společnosti ČEZ, a. s. vytvořena SW aplikace, která umožňuje přístup zaměstnanců k aktuálně platným i archivním dokumentům.

13.5.2 Předpisy pro provoz JE Dukovany

Provozní předpisy i další dokumentace mají stanovenou hierarchii podle jednotlivých úrovní DiD. Pro DiD 1 slouží úroveň normálních provozních předpisů, pro DiD 2 úroveň abnormálních provozních předpisů, pro DiD 3 úroveň havarijních provozních předpisů a

pro DiD 4 úroveň návodů pro těžké havárie. V případě vyhlášení mimořádné události (od DiD 3 výše) pak pracovníci postupují podle příslušné úrovně předpisů nebo podle pokynů havarijního štábu, na jehož příkaz se mohou od postupu podle provozních předpisů odchýlit. Pokud k takovéto situaci dojde, je velitel zásahu povinen pracovníka seznámit s možnými riziky takového postupu. Vždy však platí zásada, že pracovník nesmí vykonat příkaz, kterým by vědomě ohrozil život nebo své zdraví, podobně jako život nebo zdraví jiných osob.

13.5.2.1 Typy provozních předpisů a dokumentů JE Dukovany

V průběhu normálního provozu (úroveň DiD 1) jsou v JE Dukovany používány následující typy provozních dokumentů:

- **Manipulační provozní předpisy**, což jsou předpisy, ve kterých jsou popisovány manipulace a operace se zařízením daného systému pro uvedení technologie do určitého, předem definovaného stavu.
- **Popisné provozní předpisy**, což jsou předpisy, ve kterých je uveden technický popis zařízení daného systému, popis jeho jednotlivých komponent a funkční popis zařízení včetně stanovení podmínek jeho provozu.
- **Jiné (ostatní) provozní předpisy**, což jsou předpisy, které obsahují ucelené informace o daném systému, které není vhodné nebo možné rozdělit a uvádět odděleně v manipulačních a popisných předpisech.
- **Provozní instrukce**, což jsou řízené dokumenty operativního charakteru s dočasnou platností, které doplňují nebo mění ustanovení provozních předpisů či řídicích dokumentů, pokud tyto dokumenty zasahují až do problematiky pracovně orientované dokumentace. Provozní instrukce může také stanovit pravidla pro činnosti, nepopsané v žádné dokumentaci.
- **Operativní programy**, což jsou řízené dokumenty operativního charakteru, kterým jsou stanoveny podmínky, způsob činnosti a pracovní postup při nestandardních manipulacích, experimentech, testech a zkouškách na technologickém zařízení včetně bezpečnostních opatření. Mohou popisovat i krátkodobé odchylky v provozování oproti konkrétnímu provoznímu předpisu. Mají jednorázovou platnost jen pro konkrétní zařízení po určitou, časově vymezenou dobu. Po ukončení operativního programu je provedeno jeho vyhodnocení, ve kterém jsou popsány závěry, které byly během plnění operativního programu zjištěny včetně případných problémů či odchylek, které nastaly.
- **Denní plán provozu** je dokument, který slouží k časovému plánování provozních činností na JE Dukovany. Je vydáván každý pracovní den před zahájením odpolední směny a obsahuje seznam činností, které je nutno vykonat do příštího pracovního dne[40].
- **Denní plán údržby** je obdobou denního plánu provozu, obsahuje však plánované činnosti údržby na dané období.
- **Kontrolní listy** a **listy nezávislého ověření** jsou dokumenty, které slouží k ověření správnosti nastavení stavu zařízení (polohy armatur, odjištění čerpadel, zásoby provozních médií atd.).

V průběhu abnormálního provozu (úroveň DiD 2) je v JE Dukovany zpracována zvláštní řada provozních předpisů, tzv. předpisů pro likvidaci abnormálních stavů. Většina předpisů má v každé kapitole informační část, která podrobně vysvětluje přechodový děj a manipulace personálu. Předpisy pro abnormální provoz jsou orientovány buď symptomaticky, nebo událostně.

Jedná se o předpisy pro úniky na primárním a sekundárním okruhu, událost typu Black-out, likvidace poruchových stavů v režimech 4 až 7, poruchy ze strany primárního okruhu, poruchy ze strany sekundárního okruhu, odstraňování poruch zařízení elektro a MaR, požáry, výpadky technologických médií, destrukce chladících věží a elektrických

[40] Činnosti na víkendy a státní svátky jsou uvedeny v denním plánu posledního pracovního dne před obdobím volna a jsou uvedeny na celé jeho období.

vedení 400 kV a 110 kV, ostrovní provoz elektrárny v elektrizační soustavě, mimořádné přírodní události a vnitřní záplavy.

V průběhu havarijních stavů (úroveň DiD 3 a částečně DiD 4) je v JE Dukovany používán symptomaticky orientovaný předpis pro likvidaci mimořádných stavů. Tento předpis určuje činnosti operativního personálu, které mají být provedeny v průběhu mimořádných situací tak, aby došlo k obnově stabilního a bezpečného stavu bloku.

Havárie v úrovni DiD 4 jsou řešeny pomocí návodů pro řízení těžkých havárií (SAMG).

13.5.2.2 Zásady pro používání provozních předpisů

Zařízení JE Dukovany může být provozováno pouze v souladu se schválenými provozními předpisy. Ve všech situacích jsou všichni pracovníci povinni dodržovat platné místní provozní předpisy, limity a podmínky a řídicí dokumentaci. Podřízený pracovník nesmí vykonat příkaz, porušující limity a podmínky pro normální provoz a místní provozní předpisy, nebo pokud by vykonáním příkazu vědomě ohrozil své zdraví a život nebo zdraví a životy jiných osob.

Manipulace (činnosti) na zařízení JE Dukovany musí být prováděny v souladu s příslušnými provozními předpisy. Pokud požadované manipulace nejsou uvedeny v provozních předpisech, nebo je požadováno tyto manipulace provést jiným způsobem, než je v provozních předpisech uvedeno, musí být zpracována a schválena provozní instrukce nebo operativní program. Manipulace pak musí být provedeny v souladu s těmito dokumenty. V případech, že je nutno provést manipulace typu nastavení technologických tras, které nejsou v provozním předpisu, ani na ně není zpracována provozní instrukce nebo operativní program postupuje se podle Příkazového listu. Vypracování příkazového listu směnou musí být uvedeno v provozních denících vedoucího reaktorového bloku a příslušného operátora a dále v deníku příslušné provozní obsluhy zařízení.

Pro vybrané manipulace s vlivem na jadernou bezpečnost je předepsána povinnost použití písemného potvrzování prováděných kroků provozních předpisů - takzvaný Place-Keeping. Je metoda pro písemné potvrzování (označování) kroků v za tímto účelem vytištěných pracovních postupech s cílem předcházet lidským chybám, především opomenutím provedení předepsané činnosti či nepřesnostem v předání směny.

Pokud je na manipulace zpracován operativní program, je povinen ten, kdo má stanoveno jednotlivé kroky provádět, postupovat přesně dle tohoto operativního programu při dodržení organizačních a bezpečnostních opatření, která jsou zde uvedena. V operativním programu je nutno provedení jednotlivých kroků stvrzovat podpisem.

Kontrolní listy stanovují požadovaný stav armatur, nádrží, čerpadel a stavu ochran a blokád pro jednoznačné nadefinování připravenosti zařízení bezpečnostních systémů k provozu. Listy nezávislého ověření stanovují požadovaný stav armatur pro časově a personálně nezávislé ověření správného nastavení tras. Bezpečnostní systém, který je připraven k provozu, musí mít řádně vyplněný kontrolní list. Tento kontrolní list je třeba vyplnit vždy po jakékoli manipulaci na bezpečnostním systému (zpravidla po zkoušce ochran a blokád a zkušebním chodu) pro ověření, že bezpečnostní systém byl zpětně uveden do stavu pohotovosti. Po vyplnění kontrolního listu musí být ve stanoveném intervalu řádně vyplněn list nezávislého ověření.

V případě porušení provozních předpisů nebo limit a podmínek pro normální provoz je pracovník povinen tuto skutečnost neprodleně nahlásit svému přímému nadřízenému, vedoucímu příslušného reaktorového bloku nebo směnovému inženýrovi.

Pracovníci jsou povinni seznamovat se prokazatelně s novými provozními předpisy, s jejich změnami, provozními instrukcemi, a operativními programy. Vedoucí zaměstnanci na všech úrovních jsou povinni zabezpečovat seznamování podřízených s touto dokumentací a z neplnění vyvozovat nápravná opatření. Dále jsou povinni připomínkovat dosud nevydané provozní předpisy, jejich změny, operativní programy a provozní instrukce.

13.5.2.3 Provozní předpisy pro normální provoz (DiD 1)

Předpisy jsou tvořeny jednotlivě pro bloky nebo HVB (eventuálně i celou elektrárnu) podle druhu zařízení. Označení provozního předpisu se skládá z velkého písmena "P" (v odůvodněném případě lze použít i jiné písmeno velké abecedy), tříciferného čísla (např. 022) a malého písmena "m", "p", "j". Malá písmena na konci označení blíže specifikují daný předpis (manipulační, popisný, jiný).

Pro označení systémů, podsystémů, jejich částí, strojů, zařízení a přístrojů a pro operace, činnosti a manipulace musí být používána oficiální odborná terminologie, vycházející z platné projektové a dodavatelské dokumentace a musí být v souladu s příslušnými oborovými a státními normami. V rámci celé provozní dokumentace musí být důsledně dodržována jednotná terminologie i v tom případě, že předpisy zpracovávají různí zpracovatelé, nebo jsou používány jako vstupy pro zpracování podklady od různých dodavatelů.

Dle vyhlášky SÚJB č. 312/2008 je nutno platné provozní předpisy pravidelně kontrolovat, a to z hlediska:

- Platnosti nové a změn stávající řízené dokumentace.
- Technických podmínek výrobce a další závazné i doporučující dokumentace, vznikající mimo elektrárnu.
- Přínosu zkušeností z vlastní činnosti.

Maximální délka účinnosti provozního předpisu je uvedena na změnovém listu každého provozního předpisu. Nově vzniklý předpis provozní předpis je vhodné verifikovat již po dvou letech.

Cílem tvorby provozních instrukcí je povolit dočasné změny v provozování elektrárny a udržet tak všeobecnou a jadernou bezpečnost a úroveň radiační ochrany v případě odchylek na zařízení. Jedná se o změny, které nejsou zahrnuty v platné dokumentaci, nebo údaje v této dokumentaci pozměňují, tj. dočasně mění znění provozních předpisů a řídicí dokumenty.

Trvalé změny v provozování elektrárny musí být zapracovány do provozních předpisů. Na trvalé změny může být vydána provozní instrukce jen ve výjimečných případech, pokud hrozí nebezpečí z prodlení, a její platnost je omezena do zapracování změny do provozních předpisů.

13.5.2.4 Provozní předpisy pro likvidaci abnormálního stavu (DiD 2)

Sada předpisů pro likvidaci abnormálního stavu je určena pro takové situace, ve kterých nepůsobí systém pro odstavení reaktoru RTS a nejsou iniciovány bezpečnostní systémy systémem ESFAS. Pokud dochází v průběhu likvidace abnormálního stavu k automatickému působení ESFAS nebo RTS nebo k ruční aktivaci RTS na základě požadavku v jednotlivém postupu, personál ukončí činnost v aktuálním postupu a přechází do sady symptomaticky orientovaných předpisů pro havarijní situace (DiD 3).

Některé předpisy pro likvidaci abnormálních stavů jsou součinnostní a byly by použity pro obnovu stavu technologie bloku i v případě havarijní situace (DiD 3). Příkladem může být předpis pro black-out, přičemž v tomto případě by zásahy v technologii byly řízeny havarijním předpisem (úrovně DiD 3), přičemž snaha o obnovení napájení bloku by probíhala podle abnormálního předpisu black-out (úrovně DiD 2).

Předpis pro **úniky na primárním okruhu a sekundárním okruhu** obsahuje organizační, technické požadavky a pokyny určené operativnímu personálu pro likvidaci abnormálních situací a stabilizaci základních parametrů bloku na úrovních, kdy nedochází k působení a k aktivaci signálů ESFAS. Předpis je symptomaticky orientován. K určení konkrétního abnormálního stavu a k určení použití příslušného dalšího postupu slouží příznaky nebo projevy konkrétní abnormální situace, především změny technologických parametrů.

Předpis pro **black-out** je určen pro personál elektro a směnového inženýra[41]. Tento předpis řeší obnovu napájení na bloku JE Dukovany, případně v celém uzlu rozvodny Slavětice.

Předpis pro **likvidace poruchových stavů v režimech 4 až 7** je symptomaticky orientován a řeší abnormální a mimořádné stavy bloku, které byly iniciovány v režimech 4, 5, 6 a 7 (dle limit a podmínek – viz kap. Error: Reference source not found). V těchto režimech není funkční systém RTS a další ochrany reaktoru, protože je reaktor již odstavený. Nejsou také funkční ESFAS v automatickém režimu.

Předpisy **poruchy ze strany primárního okruhu a poruchy ze strany sekundárního okruhu** jsou událostně orientovány, tedy každý postup je použit na základě předem identifikovaného abnormálního stavu na bloku. Obsahuje organizační, technické požadavky a pokyny určené operativnímu personálu pro likvidaci abnormálních situací a stabilizaci základních parametrů bloku na úrovních, kdy nedochází k působení a k aktivaci signálů ESFAS nebo RTS.

Předpis pro **odstraňování poruch zařízení elektro a MaR** popisuje řešení abnormálních stavů, které jsou určeny technickým projektem a nahromaděnými provozními zkušenostmi. V předpisu se tak řeší abnormální stavy, které jsou spojeny s poruchami nebo s výpadky zařízení elektro, jako jsou zregulování na vlastní spotřebu, hromadný automatický záskok rezervy a úplná ztráta napájení vlastní spotřeby nebo výpadky jednotlivých rozvoden 6 kV.

Předpis pro **požáry** řeší možné požární události na bloku, které ohrožují jadernou bezpečnost nebo bezpečný stav odstaveného reaktoru. Jeho cílem je definovat a specifikovat hlavní požární rizika a určit postup personálu při vybraných požárních událostech.

V předpisu pro **výpadky technologických médií** se řeší abnormální stavy, které jsou spojené se ztrátou technologických médií, nezbytných pro stabilní provoz bloku, jako jsou vysokotlaký a nízkotlaký vzduch, vysokotlaký a nízkotlaký dusík, technická, cirkulační a chlazená voda. Pokud dochází ke ztrátě příslušného technologického média, poskytuje návod pro stabilizaci parametrů.

V předpise **destrukce chladicích věží a elektrického vedení 400 kV, 110 kV** jsou formou příloh obsaženy všechny varianty přívodu napětí z bloku, zregulovaného na vlastní spotřebu, na ČS Jihlava při destrukci chladících věží a elektrického vedení 400 kV a 110 kV.

Předpis pro **ostrovní provoz** určuje postup provozního personálu při vzniku frekvenčního kolapsu a navazuje na vytvořený frekvenční plán, který definuje činnost automatik ve spotřebě elektrizační soustavy (tzv. frekvenční odlehčování) a činnost automatik ve zdrojích. Cílem frekvenčního plánu je včasnými zásahy do poruchového děje udržet provoz ostrovní sítě s elektrickými parametry (kmitočet, napětí), neohrožujícími provoz elektráren a zařízení sítě a umožňujícími rychlé opětné přifázování ostrova nebo elektráren k ostatní síti a tím rychlou likvidaci poruchy.

Předpis pro **mimořádné přírodní události** popisuje abnormální stavy, které jsou spojeny s vnějšími klimatickými změnami a seismickými událostmi a které mohou vést ke ztrátě technologických zařízení a médií, nezbytných pro stabilní provoz bloku, nebo k ohrožení a ztrátě systému dochlazení reaktoru a k odvodu zbytkového tepla z reaktoru po odstavení bloku.

V předpisu pro **vnitřní záplavy** se řeší vybrané abnormální stavy, které jsou vyvolané úniky provozních médií do vybraných prostor bloku.

13.5.2.5 Provozní předpis pro likvidaci mimořádných stavů (DiD 3)

Symptomaticky orientovaný předpis pro likvidaci mimořádných stavů určuje činnosti operativního personálu, které mají být provedeny v průběhu mimořádných situací tak, aby došlo k obnově stabilních bezpečných podmínek bloku. Základní myšlenkou

[41] Pro vlastní postupy v technologii je určen symptomatický předpis z úrovně DiD 3.

symptomaticky orientovaných postupů je, že odpovídající strategie řešení je vybírána dle aktuálního vývoje mimořádného stavu, který je identifikován na základě jednoznačných příznaků (symptomů), charakterizujících danou událost nebo skupinu událostí. Struktura postupů umožňuje původní strategii změnit, pokud dojde v průběhu události k dalšímu rozvoji a používanou strategii nelze dál aplikovat. Nepřetržité diagnostikování stavu bloku v průběhu řešení mimořádného stavu tak umožňuje operativnímu personálu správně reagovat na možné měnící se podmínky vývoje mimořádného stavu a jeho zásahy jsou optimální reakcí na daný stav bloku.

Návody pro činnost při haváriích, vyvinuté sdružením Westinghouse Owners Group, obsahují technický základ pro vytvoření postupů, které tvoří likvidaci mimořádných stavů. Soubor předpisů likvidace mimořádných stavů má manipulační část a popisnou část. Manipulační část se skládá ze dvou nezávislých, nicméně souvisejících kategorií postupů a ze stromů stavů kontroly bezpečnostních funkcí:

- Postupy typu „E“ - Postupy pro optimální obnovení bezpečného stavu
- Postupy typu „F“ - Postupy pro obnovení kritické bezpečnostní funkce
- Stromy stavů KBF - systematický prostředek k nepřetržitému hodnocení plnění bezpečnostních funkcí elektrárny

Postupy pro optimální obnovení bezpečného stavu (typu „E“) pokrývají všechny identifikovatelné události, které s určitou pravděpodobností mohou nastat pro JE Dukovany, tedy základní projektové havárie a jejich možné kombinace. Jednotlivé postupy tohoto typu mají vždy určitou závislost na iniciační události a na vývoji mimořádného stavu. Společným znakem těchto postupů je předem určená strategie, podle které operativní personál postupuje až do dovedení bloku do dlouhodobě bezpečného a stabilního stavu.

Postupy pro obnovení kritické bezpečnostní funkce (typu „F“) poskytují instrukce, jak postupovat v případě neidentifikovatelného nebo neočekávaného vývoje mimořádného stavu. Strategie těchto postupů navazují na vyhodnocování aktuálního stavu bloku prostřednictvím hodnocení stromu stavů kritických bezpečnostních funkcí a umožňují tak najít řešení, které není závislé ani na iniciační události, ani na vývoji daného mimořádného stavu. Hlavním cílem zásahů operativního personálu v těchto postupech je obnovení plnění kritických bezpečnostních funkcí a minimalizace radioaktivních úniků do okolního prostředí. Použití těchto postupů se odvozuje z okamžitých hodnot parametrů, stavů a provozuschopnosti zařízení a použité strategie směřují k znovuobnovení bezpečnosti bloku nezávisle na události, která způsobila narušení kritických bezpečnostních funkcí.

Stromy stavů pro kritické bezpečností funkce jsou systematickým prostředkem (nástrojem), který zajišťuje nepřetržité hodnocení bezpečnosti bloku v průběhu mimořádného stavu pomocí sledování stavu plnění kritických bezpečnostních funkcí. Pokud dojde k narušení plnění KBF, operativní personál na základě vyhodnocení stromu stavů použije k řešení odpovídající postup pro obnovení kritické bezpečnostní funkce.

13.5.2.6 Návody pro řízení těžkých havárií (DiD 4)

Účelem návodu pro řízení těžkých havárií (SAMG) je poskytnout podporu pro zmírnění následků těžkých havárií. V roce 2013 byly návody dopracovány i pro stavy s otevřeným reaktorem a pro události v bazénu skladování vyhořelého paliva. Těžkou havárií (úroveň DiD 4) se obecně rozumí havárie, při které:

- Teplota na výstupu z aktivní zóny reaktoru dosáhne 550 °C, další nárůst nelze zastavit a dochází napřed k poškození pokrytí a dále k tavení jaderného paliva.
- Při otevřeném reaktoru dojde ke zvýšení dávkového příkonu na reaktorovém sále nad 1 Gy/hod.
- Dojde k poklesu hladiny v bazénu skladování vyhořelého paliva na úroveň hlavic kazet.

V okamžiku identifikace těžké havárie je třeba zaměřit pozornost personálu JE Dukovany na ochranu kontejnmentu jako poslední bariéry proti úniku RA látek a minimalizovat únik štěpných produktů do životního prostředí. Návody SAMG jsou určeny především pro použití personálem technického podpůrného střediska a z menší části pro personál blokové dozorny.

Návody pro řízení těžkých havárií nejsou předpisy, a proto není požadováno doslovné splnění každého kroku. Každý krok v návodech je součástí celkového procesu, jehož úkolem je dosažení optimálního rozhodnutí o akcích, které budou provedeny v průběhu těžké havárie. Návody SAMG mají iterativní povahu a mohou být používány po mnoho hodin při relativně pomalých změnách stavu elektrárny.

Návody byly vytvořeny ve spolupráci s firmou Westinghouse a jsou provázány s předpisem pro likvidaci mimořádných stavů jednoznačně definovanými vstupy.

V průběhu havarijní situace úrovně DiD 4 by technické podpůrné středisko provádělo diagnózu stavu elektrárny a ohrožení kontejnmentu dle parametrů a hodnot, uvedených v diagnóze havarijního stavu (DFC), a stromu vážného ohrožení (SCST).

Diagnóza havarijního stavu sleduje dosažení kritérií u 9 parametrů:

- Koncentrace vodíku v boxu parogenerátorů
- Tlak v primárním okruhu.
- Teplota na výstupu aktivní zóny.
- Dávkový ekvivalent v životním prostředí.
- Hladina v boxu parogenerátorů.
- Hladina v parogenerátorech.
- Přetlak v kontejnmentu.
- Dávkový příkon na reaktorovém sále.

Strom stavu vážného ohrožení sleduje jen čtyři parametry s podstatně výše nastavenými limity:

- Koncentrace vodíku v kontejnmentu.
- Dávkový ekvivalent v životním prostředí.
- Přetlak v kontejnmentu.
- Podtlak v kontejnmentu.

Při překročení hodnoty v diagnóze havarijního stavu určí technické podpůrné středisko příslušný návod pro řešení havárií (SAG) a provádí ohodnocení a určení vhodné strategie. Dále technické podpůrné středisko určí akce, vybrané dle SAG, pro implementaci blokovou dozornou. Vyhodnocení, provedené dle SAG, může vést technické podpůrné středisko i k rozhodnutí neprovádět žádné akce. Takové rozhodnutí je pravděpodobné v případě, když není k dispozici zařízení k provedení strategie nebo když potenciální negativní vlivy převáží nad přínosem dané strategie.

Pro možnosti provedení jednotlivých strategií je JE Dukovany vybavena sadou pomocných a dodatečných prostředků pro implementaci (viz kap. 19.2.4).

13.6 Dopad provozu JE na životní prostředí

Vliv jaderné elektrárny na životní prostředí se projevuje prostřednictvím odběru vody, kapalných a plynných výpustí, úletem a odparem vody z chladicích věží a produkcí odpadu, jakož i odpadu radioaktivního, a v neposlední řadě i produkcí vyhořelého jaderného paliva. Konstrukční řešení JE Dukovany zcela zamezuje nejen úniku škodlivin ohrožujících či znečišťujících životní prostředí, ale zvláště pak přímému úniku radioaktivních látek a ionizujícího záření z technologického zařízení JE Dukovany do jejího okolí.

13.6.1 Vliv JE Dukovany na životní prostředí

Voda pro potřeby JE Dukovany je odebírána z řeky Jihlavy (z Mohelenské nádrže). V současné době značné konvenční znečištění v řece Jihlavě, pocházející zejména ze

zemědělských zdrojů, představuje určitý problém. Toto znečištění má v JE Dukovany za následek nejen spotřebu zvýšeného množství chemikálií při úpravě vody pro potřeby elektrárny za účelem udržení přijatelné kvality chladicí vody, ale je příčinou i vyšší spotřeby množství vody.

Kapalné výpusti z JE Dukovany jsou zaústěny do Mohelenské nádrže na řece Jihlavě. Z radioaktivních látek v kapalných výpustech je měřitelné prakticky pouze tritium (izotop vodíku ^{3}H s velmi nízkou radiotoxicitou s poločasem rozpadu 12,3 roku). Jeho koncentrace po smíšení odpadních vod z JE Dukovany s vodou řeky Jihlavy se ale stále pohybuje pod úrovní, která je stanovena jako limit pro vodárenské toky.

Limity kapalných výpustí jsou naplňovány z 3 – 8 %, vyjma tritia, jehož výpusti se pohybují na úrovni cca 60 % povolených hodnot. Tato oproti jiným hodnotám vysoká úroveň je však kompenzována jistotou, že průměrná roční produkce tritia tento limit nepřekročí. Důležité je tedy pouze časové rozvržení jeho uvádění do životního prostředí.

Plynné výpusti jsou z JE Dukovany do životního prostředí uváděny dvěma ventilačními komíny, do kterých je vzduchotechnickým systémem soustřeďován přefiltrovaný vzduch z technologických prostorů. Radioaktivní látky jsou v nich zastoupeny zejména ve formě plynů (vzácných plynů a tritia) a aerosolů. Aktivita těchto exhalací je po jejich rozptýlení v životním prostředí neměřitelná. Množství veškerých radioaktivních látek uváděných do životního prostředí ventilačním komínem představuje pouze nepatrné zlomky povolených hodnot a to po celou dobu provozu elektrárny.

Odpar a úlet vody z chladících věží je nejzřetelnějším projevem jaderné elektrárny. Studie však prokázaly, že kromě zanedbatelného zvýšení výskytu mlh a námrazy v bezprostředním okolí JE Dukovany, nedochází k žádnému jinému negativnímu působení tohoto faktoru na životní prostředí.

Odpady jsou tvořeny zejména kaly z chemické úpravy surové vody, znečištěnými obaly, oleji, vyřazeným železem a stavebními materiály, ale i běžným komunálním odpadem. Odpady jsou přednostně předávány k využití, zbylé jsou předávány k uložení na skládky nebo k odstranění jiným vhodným způsobem. Odpady radioaktivní jsou tvořeny pevnými materiály a kapalinami zpracovanými a upravenými do formy vhodné k uložení. Kapaliny jsou za tímto účelem zapraveny do bitumenu a ocelových sudů. Ukládány jsou do úložiště radioaktivních odpadů (viz kap. Error: Reference source not found).

Vyhořelé jaderné palivo zadržuje největší množství radioaktivních látek. Po vyvezení z technologických prostorů JE Dukovany se ve speciálních kontejnerech skladují ve skladu vyhořelého paliva. Vzhledem ke značnému obsahu využitelných štěpných materiálů není vyhořelé palivo klasifikováno jako radioaktivní odpad a o dalším nakládání s ním bude rozhodnuto v budoucnosti. V současné době je přepracování paliva k získání využitelných látek ekonomicky nevýhodné, tato situace se ovšem může v průběhu doby změnit. Vliv skladování na životní prostředí je hodnocen zejména z hlediska radiační ochrany, ostatní vlivy jsou zcela zanedbatelné.

Veškeré materiály a látky uváděné do životního prostředí těmito cestami, jakož i složky životního prostředí, jsou technickými prostředky nejen samotné elektrárny, ale i nezávislými odbornými organizacemi (vysoké školy, výzkumné ústavy) trvale monitorovány. Tento monitoring jednoznačně prokazuje, že vliv provozu JE Dukovany na životní prostředí je velmi malý, a s výjimkou obsahu tritia a zakoncentrování klasických nečistot v odpadních vodách, je téměř neměřitelný i při použití vysoce citlivých detekčních metod.

13.6.2 Ekologické parametry JE Dukovany

13.6.2.1 Spotřeba paliva a odběr vody

Ročně je v JE Dukovany spotřebováno cca 35 tun jaderného paliva. Spotřeba tohoto množství je dána roční výrobou elektrické energie. Pro ilustraci - k výrobě stejného

množství elektrické energie v uhelné elektrárně by muselo být spáleno ročně přibližně 12 000 000 tun hnědého uhlí.

Odběr povrchové vody pro JE nepřekročil limity dané vodoprávním rozhodnutím. Hlavní účel použití odebrané povrchové (surové) vody je chlazení, ale rovněž je nutno doplňování ztrát chladících okruhů a vyrábět demineralizovanou vodu pro potřeby technologie. Povolené odebrané množství je pro JE Dukovany 63 milionů m^3 surové vody. Skutečná hodnota se pohybuje na úrovni cca 85 % tohoto množství.

13.6.2.2 Znečišťování vody

Zdroje znečišťování vody jsou v JE Dukovany tyto

- Technologické vody, především chladící vody, tvoří 90 % všech odpadních vod, vypouštěných z JE Dukovany. Jedná se o odluhy z chladících okruhů, vody z chemických provozů a přes kontrolní nádrže i nadbilanční vody z kontrolovaného pásma (viz kap. Error: Reference source not found).
- Průmyslové zaolejované vody, tedy vody s potenciální možností výskytu ropných látek, odvedené do čistící stanice zaolejovaných vod, odkud dále zaústěné přes retenční nádrže do povrchových vod.
- Dešťové vody ze zpevněných ploch, zaústěné přes retenční nádrže do povrchových vod.
- Splaškové vody ze sociálních zařízení, jídelen a přes kontrolní nádrže i ze speciálních prádelen, odvedené na biologickou čistírnu odpadních vod, odkud dále zaústěné přes retenční nádrže do povrchových vod.

Mezní hodnoty kapalných výpustí z JE jsou závazně stanoveny ve vodohospodářském rozhodnutí vydaném JE příslušným vodohospodářským orgánem při respektování požadavků SÚJB. Vypouštěné množství odpadní vody nepřekročilo povolené limity. Toto množství představuje cca 1/3 množství vody odebrané.

13.6.2.3 Znečišťování ovzduší

Zdroje znečišťování ovzduší jsou v JE Dukovany tyto vyjmenované zdroje (klasifikace dle zákona 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší):

- Dieselgenerátory bezpečnostních systémů (s tepelným výkonem nad 0,3 MW).
- Sekundární a terciární okruh JE Dukovany.

Ostatní (jiné než vyjmenované) zdroje, patřící k JE Dukovany jsou:

- Plynová kotelna laboratoře radiační kontroly okolí Moravský Krumlov.
- Čistírna odpadních vod (včetně záložního kalojemu).
- Čistírna odpadních vod Heřmanice.
- Obrábění kovů (aktivní dílny).
- Odmašťování mimo prostory odmašťoven.
- Odmašťovací stoly.
- Skladování petrochemických výrobků.
- Dieselgenerátory (s tepelným příkonem do 0,3 MW).

Zařízení s obsahem regulovaných látek jsou tato:

- Stabilní zhášecí halonové zařízení (SZHZ) Cerberus (Halon 1301).
- Kompresorové (klimatizační) jednotky s náplní chladiva R22 (chlordifluormethan).

Zařízení s náplní fluorovaných skleníkových plynů jsou tato:

- Kompresorové (klimatizační) jednotky s náplní fluorovaných skleníkových plynů.
- Vysokonapěťová zařízení s náplní fluorovaných skleníkových plynů.

13.6.2.4 Rozhodnutí a povolení k manipulacím s povrchovou vodou

Odběr vody je povolen vodoprávním rozhodnutím, které vydal Krajský úřad kraje Vysočina, OLVHZ dne 20. 7. 2007, pod č.j. KUJI 596432007, sp. zn. OVLHZ 653/2007 PP-3. Toto rozhodnutí bylo v roce 2012 změněno rozhodnutím č.j. KUJI 50307/2012 ze dne 24. 7. 2012 a v roce 2014 rozhodnutím č.j. KUJI 35116/2014 ze dne 3. 6. 2014. Změna spočívá ve zvýšení měsíčního respektive ročního limitu odebírané vody.

Vypouštění odpadních vod je povoleno vodoprávním rozhodnutím, které vydal Krajský úřad Kraje Vysočina, OLVHZ dne 26. 7. 2007, č.j. KUJI 50087/2007, sp. zn. OVLHZ 652/2007 PP-5, změněného v roce 2011 rozhodnutím č.j. KUJI 67546/2011, sp.zn. OVLHZ 1025/2011 PP-4 ze dne 9. 8. 2011 a v roce 2014 rozhodnutím č.j. KUJI 35108/2014 ze dne 3. 6. 2014.

Uvádění radionuklidů do životního prostředí ve formě kapalných výpustí je povoleno rozhodnutím SÚJB č.j. 12136/2007 ze dne 25. 4. 2007.

13.6.3 Nakládání s povrchovou vodou

Odběr povrchové vody v roce 2014 nepřekročil limity dané rozhodnutím. Bylo odebráno 52,9 mil. m^3 povrchové (surové) vody (limit 63 mil. m^3). Hlavním účelem použití odebrané povrchové (surové) vody je doplňování ztrát chladících okruhů a výroba demineralizované vody. Ztráty chladících okruhů jsou dány hlavně odparem a úletem na chladicích věžích, objem těchto ztrát v roce 2014 činil 33,4 mil. m^3.

Vývoj spotřeby povrchové (tzv. surové) vody jak absolutní, tak i vztažený na vyrobenou elektrickou energii, množství vypuštěné odpadní vody a množství dešťové vody odvedené kanalizací v letech 1985 – 2014 je uveden v následující tabulce:

rok	surová * [m^3]	potřeba [m^3/MWh]	spotřeba [m^3/MWh]	odp.voda [m^3]	odpar ** [m^3]	dešt.voda [m^3]
1985	8 604 175	3,86	1,58	4 297 400	3 797 000	-
1986	20 058 152	3,25	2,25	7 694 076	13 616 412	-
1987	31 678 822	2,93	1,62	12 906 231	17 315 585	328 062
1988	38 890 800	3,29	1,93	16 048 707	22 815 734	142 694
1989	44 528 400	3,59	2,08	18 991 088	25 958 274	115 169
1990	46 085 400	3,66	2,19	18 825 923	27 739 596	146 752
1991	46 819 800	3,86	2,17	20 953 554	26 343 046	133 832
1992	44 929 800	3,67	2,17	18 810 754	26 616 508	131 917
1993	46 024 200	3,69	2,19	18 861 740	27 491 636	124 159
1994	43 421 400	3,36	2,25	14 762 624	29 030 651	127 567
1995	40 932 000	3,39	2,22	14 683 213	26 771 389	165 968
1996	41 677 200	3,28	2,17	14 691 703	27 582 619	181 549
1997	40 455 000	3,28	2,18	14 344 007	26 872 170	201 934
1998	48 249 000	3,66	2,17	20 436 394	28 599 943	157 631
1999	43 399 800	3,25	1,97	17 844 410	26 375 600	161 213
2000	45 646 200	3,36	2,12	17 459 134	28 839 757	186 599
2001	46 407 600	3,41	2,12	18 243 575	28 770 784	182 131
2002	46 539 000	3,50	2,23	17 429 772	29 629 367	244 113
2003	48 702 920	3,54	2,30	17 360 609	31 586 399	142 030

2004	45 420 520	3,33	2,19	15 771 194	29 896 466	176 737
2005	45 378 860	3,30	2,15	16 120 280	29 525 181	185 136
2006	47 560 830	3,39	2,20	17 038 491	30 791 989	199 735
2007	48 252 394	3,47	2,12	18 971 638	29 539 853	189 103
2008	49 544 840	3,43	2,09	19 626 769	30 133 409	145 882
2009	48 840 550	3,47	2,13	19 042 697	29 690 793	219 958
2010	48 732 530	3,44	2,09	19 418 073	29 673 948	290 646
2011	50 187 130	3,49	2,12	19 982 123	30 429 631	144 650
2012	53 388 400	3,55	2,11	21 958 711	31 692 983	198 271
2013	50 142 341	3,20	1,99	19 249 362	31 146 639	191 222
2014	52 873 910	3,44	2,17	19 767 090	33 372 411	199 043

Tab. 51. Hospodaření s povrchovou vodou JE Dukovany v letech 1985 - 2014

13.6.4 Nakládání s neaktivními odpady

Snahou odpadového hospodářství je co možná nejmenší produkce odpadů a k tomuto cíli směřuje veliké organizační a taktéž ekonomické úsilí o minimalizaci vzniku veškerých odpadů. Toho je docíleno pomocí:

- Předcházení vzniku odpadů.
- Omezování množství vzniklých odpadů.
- Omezovaní nebezpečných vlastností těch odpadů, jejichž vzniku nelze zabránit.

13.6.4.1 Nakládání s odpady

Nakládání s neradioaktivními odpady[42] se skládá z jejich shromažďování, soustřeďování, sběru, výkupu, třídění, přepravy a dopravy, skladování, úpravy, využívání a odstraňování.

Prvním stupněm shromažďování se rozumí odložení odpadů fyzickými osobami/zaměstnanci do shromažďovacích prostředků umístěných přímo na pracovišti/pracovním místě či v jeho bezprostřední blízkosti - na shromažďovacích místech. Odkládat odpad mimo shromažďovací místa je zakázáno. Trvale zřízená shromažďovací místa jsou přístupná veřejně a jejich obsluha je zajištěna prostřednictvím dodavatelské firmy. Při odkládání odpadů jsou tyto prvotně tříděny - zařazeny dle Katalogu do kategorií a dle tohoto zařazení pak odkládány do příslušných shromažďovacích prostředků.

Druhým stupněm shromažďování se rozumí svoz shromažďovacích prostředků s odloženým odpadem do centrálního shromažďovacího místa typu „sběrný dvůr“, které rovněž slouží pro přímé odkládání rozměrných, případně těch nebezpečných odpadů, pro něž není zřízeno shromažďovací místo.

Třídění probíhá ve dvou stupních. Prvotní třídění je prováděno dle druhů odpadů, případně jejich rozměrů za účelem uložení do příslušného shromažďovacího prostředku a provádí jej pracovník, jemuž odpad vznikl. Druhotné třídění probíhá dle dalších kritérií v závislosti na místě vzniku a dalšího předpokládaného způsobu nakládání s ním a provádí jej pracovníci obsluhy centrálního shromažďovacího místa.

Přeprava a doprava probíhá za dvěma účely, jednak při svozu ze shromažďovacích míst na centrální shromažďovací místo a dále při odvozu za účelem jejich odstranění.

---

[42] Nakládání s RA odpady se zabývá kap. Error: Reference source not found.

Skladování odpadu v podmínkách JE Dukovany je pouze jeho dočasné uložení na centrálním shromažďovacím místě do doby jeho odvezení (předání oprávněné osobě k odstranění).

Jediným způsobem úpravy odpadů v podmínkách JE Dukovany je snížení jejich objemu (rozměrů), včetně jejich třídění dle velikostí jednotlivých kusů, a to za účelem umožnění nebo usnadnění jejich dopravy.

JE Dukovany žádné odpady nevyužívá. Dodavatelská firma, pověřená odstraněním odpadů, je oprávněna za účelem jeho dalšího využití a splnění zákonných požadavků, za něž je odpovědná, tento odpad odprodat (předat) právnické či fyzické osobě, která má o jeho další využívání zájem. JE Dukovany si však vyhrazuje právo odsouhlasení následného odběratele a podmínek dalšího využívání tohoto odpadu.

13.6.4.2 Emise do ovzduší

Pouze dva zdroje sekundární a terciární okruh JE Dukovany a dieselgenerátory s tepelným výkonem nad 0,3 MW jsou klasifikovány dle zákona 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší jako zdroje vyjmenované, a proto se na ně vztahují přísnější podmínky provozu, než na zdroje ostatní. Ke znečišťování ovzduší emisemi znečišťujících látek dochází v míře natolik nízké, že poplatky za ně nejsou vyměřovány.

Oxid uhličitý se přímo při výrobě elektrické energie v JE Dukovany do ovzduší neuvolňuje. K jeho uvolňování však dochází při chodu dieselgenerátorů. Tyto nejsou sice běžně provozovány (jedná se o bezpečnostní systémy, které jsou v pohotovostním režimu), ale musí být pravidelně uváděny do chodu za účelem prověření své provozuschopnosti. Při těchto zkouškách došlo v roce 2014 k uvolnění 277 t oxidu uhličitého, což odpovídá i dlouhodobému průměru.

13.7 Vztah mezi JE a dozorným orgánem

Pro činnosti, které jsou spojeny s možnými negativními dopady, definuje stát prostřednictvím obecně závazných právních předpisů povinnosti, požadavky a pravidla, které je příslušná fyzická nebo právnická osoba povinna při dané činnosti dodržovat. Pro kontrolu dodržování stanovených povinností, požadavků a pravidel stát zřizuje kontrolní (dozorné) orgány. Kontrolní orgány ověřují dodržování zákonných předpisů a v rámci svých kompetencí kontrolují odstraňování zjištěných neshod.

13.7.1 Zajišťování Rozhodnutí o povolení a Rozhodnutí o schválení dokumentace

13.7.1.1 Výčet povolení pro činnosti v JE Dukovany

Činnosti, které jsou významné z hlediska jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, fyzické ochrany, technické bezpečnosti nebo havarijní připravenosti, mohou být vykonávány pouze na základě povolení SÚJB. Povolení (licence) jsou vydávána formou rozhodnutí podle zákona č. 500/2004 Sb., správní řád, a v souladu se zákonem č. 18/1997 Sb., atomový zákon. Pro provoz Jaderné elektrárny Dukovany jsou v současnosti relevantní povolení, vydaná podle příslušných požadavků atomového zákona:

- Povolení k provozu jaderného zařízení podle § 9 (1) d) atomového zákona.
- Povolení k provozu pracoviště IV. kategorie podle § 9 (1) d) atomového zákona.
- Povolení k opětovnému uvedení jaderného reaktoru do kritického stavu po výměně jaderného paliva podle § 9 (1) e) atomového zákona.
- Povolení k provedení rekonstrukce nebo jiných změn ovlivňujících jadernou bezpečnost, radiační ochranu, fyzickou ochranu a havarijní připravenost

jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie podle § 9 (1) f) atomového zákona.
- Povolení k uvádění radionuklidů do životního prostředí podle § 9 (1) h) atomového zákona.
- Povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření podle § 9 (1) i) atomového zákona.
- Povolení k nakládání s radioaktivními odpady podle § 9 (1) j) atomového zákona.
- Povolení k dovozu nebo vývozu jaderných položek nebo průvozu jaderných materiálů a vybraných položek podle § 9 (1) k) atomového zákona.
- Povolení k nakládání s jadernými materiály podle § 9 (1) l) atomového zákona.
- Povolení k přepravě jaderných materiálů podle § 9 (1) m) atomového zákona.
- Povolení k odborné přípravě vybraných pracovníků podle § 9 (1) n) atomového zákona.
- Povolení ke zpětnému dovozu radioaktivních odpadů vzniklých při zpracování materiálů vyvezených z České republiky podle § 9 (1) o) atomového zákona.
- Povolení k mezinárodní přepravě radioaktivních odpadů podle § 9 (1) p) atomového zákona v rozsahu a způsoby stanovenými prováděcím právním předpisem.
- Povolení k provádění osobní dozimetrie a dalších služeb významných z hlediska radiační ochrany podle § 9 (1) r) atomového zákona.

V budoucnosti se v souvislosti s ukončováním provozu JE Dukovany stanou nezbytnými také povolení pro jednotlivé etapy vyřazování z provozu jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie podle § 9 (1) g) atomového zákona.

13.7.1.2 Zodpovědnost za dohled nad výkonem činností podléhajících povolení

Vnitřní dohled nad výkonem činností, které je podle atomového zákona možné vykonávat pouze na základě povolení SÚJB, je zajišťován v několika stupních.

První a základní stupeň dohledu provádějí garanti jednotlivých procesů v základní oblasti řízení bezpečnost. Určení garantů jednotlivých procesů je provedeno prostřednictvím vnitřních dokumentů ČEZ, a. s. V souladu s těmito dokumenty jsou prostřednictvím řídicí dokumentace útvaru licencování určeni garanti jednotlivých povolení SÚJB (a garanti jednotlivých dokumentů schvalovaných SÚJB). Dohled garantů jednotlivých oblastí řízení nad výkonem činností podléhajících povolení je prováděn soustavně a průběžně.

Další stupeň dohledu nad výkonem činností podléhajících povolení zajišťuje útvar bezpečnost divize výroba. Tento útvar zajišťuje dohled nad dodržováním příslušných požadavků atomového zákona a požadavků stanovených v jednotlivých licencích.

Poslední stupeň dohledu nad výkonem činností podléhajících povolení SÚJB představují útvary inspektorát bezpečnosti skupiny ČEZ a systém řízení, které provádějí dohled nezávisle na dohledu prováděném garanty procesů a útvarem bezpečnost divize výroba.

13.7.2 Oznamování skutečností důležitých z hlediska bezpečnosti

Podle § 17 odst. 1 písm. j) je ČEZ, a. s. povinen SÚJB oznamovat každou změnu nebo událost, důležitou z hlediska jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, fyzické ochrany, technické bezpečnosti, nakládání s jadernými materiály, havarijní připravenosti a změnu všech skutečností rozhodných pro vydání povolení. Oznamování skutečností důležitých z hlediska havarijní připravenosti je upřesněno ve vyhlášce č. 318/2002 Sb., o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu.

Ze strany SÚJB jsou vůči ČEZ, a. s. stanovena pravidla, upřesňující oznamované změny důležité z hlediska jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, fyzické ochrany, nakládání s jadernými materiály, havarijní připravenosti. Oficiální informace o vzniku skutečností důležitých z hlediska bezpečnosti jsou ze strany ČEZ, a. s. předávány SÚJB řízeným způsobem – buď písemně dopisem, nebo prostřednictvím deníku operativního styku. V souladu se zákonem č. 500/2004 Sb., správní řád, je využívána také elektronická komunikace.

13.7.3 Inspekční činnost SÚJB

Za administrativní zajištění součinnosti při kontrolách, kterou je povinna ČEZ, a. s. jako kontrolovaná osoba poskytnout, odpovídá útvar licencování. Za zajištění koordinace výstupů ČEZ, a. s. při součinnosti v rámci inspekční činnosti SÚJB zodpovídá útvar jaderné bezpečnosti. Povinnost poskytovat součinnost při kontrole platí pro všechny zaměstnance ČEZ, a. s. Požadavky SÚJB v rámci kontroly jsou zajišťovány prostřednictvím útvarů ČEZ, a. s., jejichž činnost je předmětem kontroly, nebo které spravují kontrolované objekty nebo zařízení.

Pro zahájení a ukončení kontroly SÚJB jsou za ČEZ, a. s. určeny osoby, které v rámci těchto úkonů jednají za ČEZ, a. s. Tyto osoby jsou ze strany ČEZ, a. s., zmocněny prostřednictvím písemného pověření, kterým se kontrolním pracovníkům SÚJB prokazují. Rozsah pověření je v plné moci specifikován. Podle předmětu kontroly SÚJB jsou pro příslušnou kontrolu SÚJB ze strany ČEZ, a. s. pověřeni kompetentní pracovníci odborných útvarů ČEZ, a. s., kteří jsou povinni plně spolupracovat se SÚJB (včetně předávání vyžádaných dokladů).

Při ukončení inspekce je protokol podepsán za SÚJB a za ČEZ, a. s. ve dvou vyhotoveních. Jeden stejnopis si ponechá inspektor SÚJB provádějící kontrolu (vedoucí kontrolního týmu), druhý stejnopis převezme pověřený zástupce ČEZ, a. s. V souladu se zákonem č. 255/2012 Sb., o kontrole, předávají inspektoři SÚJB protokoly z inspekcí také prostřednictvím datové schránky.

V případě, že při kontrole byly zjištěny neshody a protokol z kontroly obsahuje požadavky na odstranění nedostatků, má ČEZ, a. s. právo v případě nesouhlasu s nálezem podat do stanovené lhůty námitky vůči protokolu.

Plnění požadavků z protokolů v ČEZ, a. s. sleduje útvar licencování, který také zajišťuje předávání o plnění požadavků z protokolů o kontrole na SÚJB (např. informací o odstranění neshod zjištěných při kontrole).

Vzhledem k tomu, že kontroly SÚJB a zejména zjištěné neshody přispívají ke zvýšení úrovně bezpečnosti JE Dukovany, jsou nálezy z kontrol využívány garanty příslušných oblastí ke zlepšení zajišťování jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, fyzické ochrany, technické bezpečnosti a havarijní připravenosti v garantované oblasti. S nálezy SÚJB je nakládáno obdobně jako s nálezy zjištěnými vlastními kontrolními mechanismy ČEZ, a. s. Nálezy či doporučení se řeší v systému (procesu) zpětné vazby z provozních událostí.

14 Programy zkoušek

Programy kontrol a jejich plnění umožňují prokázat ověřování, sledování, měření, hodnocení parametrů a skutečností důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a současně hodnotit naplnění stávající úrovně vědy a techniky. Povinnost provozovatele jaderného zařízení zpracovat a realizovat program kontrol a zkoušek vyplývá z požadavků legislativy České republiky. Tato povinnost je v některých případech vyjádřena nepřímo a vyplývá z logiky, že má-li něco být zkoušeno či kontrolováno, musí existovat program, postup či jiný dokument, ve kterém jsou uvedeny činnosti při kontrole nebo zkoušce. Tak tomu je např. v zákonu č. 18/1997 Sb, o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon).

Příloha k zákonu č. 18/1997 Sb. přímo určuje, že program provozních kontrol je součástí dokumentace pro povolení jednotlivých etap uvádění jaderného zařízení do

provozu. Příloha k zákonu dále vyžaduje předběžné vyhodnocení provozních kontrol jako součást dokumentace pro povolení k opětovnému uvedení reaktoru do kritického stavu po výměně jaderného paliva. Dále tato povinnost vyplývá z vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb., o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie, kde je vyžadován program provozních kontrol v návaznosti na zařazení zařízení do bezpečnostních tříd. Povinnost mít zpracovaný program provozních kontrol a zkoušek lze dovodit i z vyhlášky SÚJB č. 106/1998 Sb. o zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany jaderných zařízení při jejich uvádění do provozu a při jejich provozu.

Kontroly a testování zařízení jsou prováděny podle plánu provozních kontrol a podle plánu provozních zkoušek.

14.1 Koncepce a rozsah programů zkoušek

Požadavky výrobců, případně dodavatelů jaderného zařízení a jeho komponent, na obsah programu provozních kontrol, byly předepsány zejména v individuálních programech zajištění jakosti (IPZJ) pro jednotlivé bezpečnostně významné komponenty. Části IPZJ, týkající se provozních kontrol, byly pak přetransformovány do jednotného programu provozních kontrol. V průběhu provozu JE Dukovany jsou na trvale udržovaný aktualizovaný seznam vybraných zařízení dopracovávány individuální programy zajištění jakosti provozu (IPZJP). Tyto jsou zpracovány z požadavků výrobců, uvedených v návodech na obsluhu a údržbu, případně z požadavků provozních předpisů.

Program provozních kontrol je živým dokumentem. Změny jsou vyvolávány zahrnutím vlastních poznatků z provozování, zejména výsledků kontrol v jejich návaznosti na výsledky a zkušenosti z různých oborů zkoušení. Dále jsou uplatňovány nové kontrolní metody v závislosti na jejich vývoji a nových možnostech použití. Dochází rovněž k záměnám zkušebních metod tak, aby požadavky na demontáž funkčních systémů byla minimalizována. Totéž se týká i počtu a intervalu tlakových zkoušek, jejichž uplatňování s sebou přináší vyšší čerpání zbytkové životnosti. Do programu provozních kontrol se uplatňují rovněž zkušenosti z jiných elektráren. Podkladem jsou výměny informací odborníků jednotlivých profesí, zejména poznatky z hodnotících komisí výsledků provozních kontrol a dále poznatky z výměny zkušeností při specializovaných akcích, pořádaných IAEA s cílem zvýšit informovanost pracovníků v oblasti provozních kontrol. Dalším zdrojem informací jsou zprávy provozovatelů WANO k událostem, ke kterým došlo v jednotlivých elektrárnách. Tyto zprávy jsou analyzovány a v případě potřeby jsou do programu kontrol zařazována nová kontrolní místa, případně zařazeno použití jiných kontrolních metod.

Program provozních kontrol je každoročně aktualizován, a to vždy po ukončení ročního plánu kontrol. Navrhované změny jsou nejprve projednány se Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB) a po jejich schválení jsou zahrnuty do programu provozních kontrol. K zajištění jednotného postupu při provádění zkoušek jsou zpracovány instrukce nebo metodiky zkoušení. Detailní provedení se pak liší v závislosti na specifických zvláštnostech jednotlivých oborů zkoušení. Program provozních kontrol spolu s instrukcí (metodikou) pro provedení kontroly je základním písemným materiálem pro provedení kontroly. Zaručuje provádění kontrol stejným způsobem při následné kontrole.

14.2 Program kontrol

14.2.1 Účel programu provozních kontrol

Program provozních kontrol je souhrn stávajících kontrolních operací, prováděných na vybraných zařízeních JE Dukovany. Podle tohoto programu jsou realizovány pravidelné kontroly, jejichž účelem je prokázat že:

- Na zařízení se nevyskytují indikace poškození, které by v případě rozvoje mohly ohrozit celistvost a bezpečnost zařízení a systému, v němž je zařízení provozováno, případně ohrozit bezpečnost zařízení sousedících (např. poškození úlomky při destrukci atd.).

- Zařízení není poškozeno tak, že by mohlo dojít k porušení těsnosti a tím úniku radioaktivních látek do prostředí.
- Zařízení je schopno plnit svoji předpokládanou bezpečnostní i provozní funkci.

Kontrole podléhají vybraná zařízení a vybraná technická jaderná zařízení ve smyslu vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb., o systému jakosti a vyhlášky SÚJB č. 309/2005 Sb. o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení. Kontroly prokazují nejen současný stav zařízení, ale mají i význam preventivní tj. dokáží ve většině případů odhalit nebezpečnou indikaci poškození dříve, než dojde k jejímu rozvoji do kritické velikosti. V případech, kdy je to účelné, se metody kontrol slučují do jednoho celku a dávají tím lepší přehled o použitých metodách kontrol a místech kontrol (např. defektoskopie, technická kontrola, speciální technika atd.).

Obecně program provozních kontrol určuje, co je třeba na příslušném zařízení kontrolovat, jakou metodou, jak často se má kontrola provádět a jaké jsou kritéria pro vyhodnocení výsledků kontroly. Rozložení termínů kontrol na jednotlivých zařízeních je nejlépe znázorněno v Dlouhodobém plánu provozních kontrol. Pro jednotlivé roky je pak dlouhodobý plán rozpracován v prováděcím plánu provozních kontrol pro jednotlivé roky. Prováděcí plán je podkladem pro zpracování plánu údržby příslušného roku. Požadavky na provedení kontroly je pak do tohoto plánu zahrnuto.

14.2.2 Rozsah programu provozních kontrol

Program provozních kontrol je rozdělen podle odborností provádějících kontrolní činnost. Kontrolovaná zařízení jsou uvedena dle příslušných odborností. U odborností, které mají vypracovaný společný program provozních kontrol, se může kontrola provádět pouze jednou odborností.

14.2.2.1 Diagnostika

Diagnostické kontrole podléhají následující důležité systémy a zařízení[43]:

- Reaktor.
- Parogenerátory.
- Hlavní cirkulační potrubí.
- Hlavní cirkulační čerpadla.
- Čerpadla systému doplňování primárního okruhu včetně předřazených podávacích čerpadel.
- Čerpadla vložených okruhů chlazení hlavních cirkulačních čerpadel a regulačních pohonů.
- Čerpadla chlazení bazénu skladování vyhořelého paliva.
- Čerpadla bezpečnostních systémů (vysokotlaká, nízkotlaká i sprchová).
- Čerpadla nouzového a havarijního napájení parogenerátorů.
- Čerpadla pomocných okruhů bezpečnostních systémů.
- Dmychadla systému spalování vodíku.
- Čerpadla doplňování čistého kondenzátu do systému primárního okruhu.
- Ventilátory cirkulačních systémů hermetické zóny.
- Ventilátory přívodního a odvodního vzduchu z budovy reaktoru tzv. reaktorovny.
- Turbogenerátory.
- Důležitá čerpadla sekundárního okruhu (hlavní napájecí čerpadla, kondenzátní čerpadla atd.).
- Čerpadla technické vody důležité a nedůležité.
- Čerpadla doplňování chladicí vody z řeky Jihlavy,

[43] Diagnostické kontrole podléhá i mnoho dalších zařízení, zde jsou uvedena pouze ta důležitá z pohledu seznamu vybraných zařízení.

14.2.2.2 Kontroly elektročásti[44]

Program provozních kontrol elektročásti obsahuje následující důležité systémy a zařízení:

- Akumulátorové baterie 1. kategorie zajištěného napájení.
- Usměrňovače a střídače 1. kategorie zajištěného napájení.
- Režimové automatiky zajištěného napájení 2. kategorie
- Režimové automatiky nezajištěného napájení
- Rozvaděče 6 kV
- Úsekové rozvaděče
- Podružné rozvaděče
- Oddělovací transformátory
- Automatiky a rozvaděče vlastní spotřeby dieselgenerátorů
- Transformátory 6/0,4 kV
- Výkonová relé hlavních cirkulačních čerpadel
- Ochrany a budící souprava dieselgenerátorů

14.2.2.3 Kontroly systémů kontroly a řízení (SKŘ)

Program provozních kontrol systémů kontroly a řízení obsahuje následující důležité systémy a zařízení:

- Systém rychlého odstavení reaktoru (RTS).
- Systém pro spouštění technických prostředků pro zajištění bezpečnosti (ESFAS).
- Automatika postupného spouštění (ELS).
- Pohavarijní monitorovací systém (PAMS).
- Limitační systém reaktoru (RLS).
- Regulační systém reaktoru (RCS).
- Systém pro podpůrné zásahy (SAS)[45].
- Systém ovládání kazet HRK (RRCS).
- Ochranný systém parogenerátorů (SGPS).
- Počítačový informační systém (PCS).
- Systém vnitroreaktorových měření (IN-CORE).
- Systém měření neutronového toku vnějšími komorami (EX-CORE).
- Řídicí systém bloku – bloková dozorna (ŘSBB).
- Řídicí systém bloku – nouzová dozorna (ŘSBN).
- Řídicí systém bloku - sekundární část (ŘSBS).
- Řídicí systém bloku – turbína (ŘSBT).
- Řídicí systém bloku primární části (ŘSBP).
- Diagnostický systém bloku (DIAG).

14.2.2.4 Defektoskopie, speciální technika, technická kontrola a chemie

Revizím, defektoskopickým kontrolám a technickým kontrolám podléhají dle programu kontrol následující důležité systémy a zařízení:

- Reaktor a jaderné palivo.
- Potrubí primárního okruhu včetně pojistných ventilů, drenáží a odvzdušnění.
- Kompenzátor objemu včetně systému pojistných a odlehčovacích ventilů.
- Parogenerátory.

---

[44] Pravidelným kontrolám a revizím dle příslušné legislativy a norem podléhají všechna zařízení elektro, v programu provozních kontrol jsou pak uvedena jen zařízení dle seznamu vybraných zařízení.

[45] Systém není fyzicky realizován samostatně, jeho funkce s výkonnou částí divizně členěnou vykonává zařízení systému ESFAS, funkce s výkonnou částí divizně nečleněnou vykonává zařízení SAS-N s využitím snímací části zařízení ESFAS.

- Hlavní cirkulační čerpadla včetně pomocných systémů a hlavní uzavírací armatury.
- Barbotážní nádrž.
- Vysokotlaké ionexové filtry čištění primárního okruhu včetně regeneračních výměníků a dochlazovačů (SVO 1).
- Všechny části aktivních i pasivních bezpečnostních systémů.
- Všechny části systému normálního doplňování.
- Systémy hermetické zóny včetně barbotážních žlabů a katalytických rekombinátorů.
- Systémy speciální očisty vod (SVO 2, SVO 3, SVO 4, SVO 5, SVO 6).
- Systém spalování vodíku.
- Systém chlazení bazénu skladování vyhořelého paliva.
- Systém skladování vyhořelého paliva (CASTOR) včetně systémů manipulace.
- Dieselgenerátory včetně pomocných systémů.
- Systémy technické vody důležité.
- Nádrže odpadních vod.
- Systémy pro zpracování kapalných a plynných RA odpadů.
- Kanály ionizačních komor včetně stínění.
- Napájecí nádrže včetně odplyňovačů.
- Tlakové nádoby, ohříváky a chladiče sekundárního okruhu včetně pomocných systémů.
- Parní potrubí včetně odvodnění, odvzdušnění a pojistných ventilů.
- Systém dochlazování bloku.
- Všechna vysokotlaká potrubí napájecí vody do parogenerátorů včetně drenáží a odvzdušnění.
- Kondenzátní potrubí sekundárního okruhu.
- Vysokotlaké armatury sekundárního okruhu.

14.2.3 Obsah programu provozních kontrol

Základem pro zpracování programu kontrol byly IPZJ, zpracované výrobci jednotlivých vybraných zařízení, případně dodavatelé těchto zařízení, pokud se jednalo o zahraniční dodávky. IPZJ byly schvalovány dřívějším dozorným orgánem tedy ČSKAE. Dalším zdrojem pro zpracování byly IPZJP, zpracované JE Dukovany a to u zařízení, které bylo později zařazeno do seznamu vybraných zařízení. Jednalo se o nový seznam, zpracovaný na základě původní vyhlášky ČSKAE 436/1990 Sb. Dalšími zdroji byly technické podmínky, případně návody na obsluhu zařízení. Dále pak naplnění požadavků dozorných orgánů, doplnění na základě vlastního poznání, případně poznatků z jiných jaderných elektráren, obsažených ve zprávách WANO nebo přímého předávání poznatků z provozu. Pro systémy kontroly a řízení (SKŘ), realizované v rámci obnovy těchto systémů, je zdrojem pro zpracování programů technická dokumentace dodavatele.

Zpracován je dlouhodobý plán provozních kontrol (na 10 let) pro jednotlivé odbornosti (např. defektoskopické kontroly). V tomto plánu je přehledně znázorněno, ve kterých letech se má provést kontrola na příslušném zařízení. Plán obsahuje název zařízení, projektové označení zařízení, bezpečnostní klasifikaci zařízení dle příslušných vyhlášek, čísla příslušných programu kontroly, interval provádění kontroly, informace zda má být kontrola provedena v období odstávky na výměnu paliva nebo mimo odstávku a datum poslední kontroly. Na dlouhodobý plán navazuje prováděcí (roční) plán, po jehož provedení je provedena revize programu provozních kontrol (viz výše).

Konkrétní seznam určených míst, podléhajících kontrole, je uveden v programu provozních kontrol. Pro defektoskopické kontroly, kontroly technické a speciální je možné vytvořit společný dokument, zahrnující kontroly všech tří odborností. Program provozních kontrol je tvořen textovou částí a výkresovou částí. Textovou část tvoří úvod, technickoorganizační opatření, dokumentace, zabezpečení jakosti, vysvětlivky a zkratky, změnové listy, a vlastní programy provozních kontrol pro následující části - diagnostika, revize, elektro a SKŘ. Dále pak defektoskopie, speciální technika, technická kontrola, chemie. Tato část je rozpracována do dílčích částí pro zařízení primárního okruhu, sekundárního okruhu a vybrané potrubní trasy. Výkresová část je zpracována pro zařízení a dále potrubní trasy.

14.2.3.1 Program provozní kontroly - diagnostika

V textové části jsou uvedeny následující informace:

- Název diagnostikovaného zařízení.
- Projektové označení diagnostikovaného zařízení
- Druh diagnostické kontroly.
- Metoda diagnostické kontroly.
- Předepsaný interval.
- Případné upřesnění a poznámka.

14.2.3.2 Program provozní kontroly - revize

V textové části jsou uvedeny následující informace:

- Pořadové číslo a název IPZJ.
- Kontrolované místo.
- Metoda kontroly.
- Předepsaný povrch kontrolovaného místa.
- Předepsaný rozsah kontroly.
- Předepsaný interval kontroly.
- Případné upřesnění a poznámka.

14.2.3.3 Program provozní kontroly – elektro a SKŘ

V textové části jsou uvedeny následující informace:

- Název kontrolovaného zařízení.
- Projektové značení kontrolovaného zařízení.
- Druh kontroly.
- Metoda kontroly.
- Předepsaný interval kontroly.
- Případné upřesnění a poznámka.

14.2.3.4 Program provozní kontroly - defektoskopie, speciální technika, technická kontrola a chemie

V textové části jsou uvedeny následující informace:

- Název kontrolovaného zařízení.
- Projektová značení kontrolovaných zařízení, pro která program platí.
- Číslo a název kontrolního místa, doplněný číslem obrázku (pokud je to třeba pro větší názornost).
- Předepsaná metoda zkoušení, zkoušený povrch a rozsah kontroly.
- Interval kontrol, upřesnění a omezení (zpřesnění rozsahu zkoušení, omezení zkoušení apod.)
- Použité přístroje (při použití speciálních zkušebních zařízení jejich název).
- Informace o materiálu zkoušeného místa.
- Poznámka, uvádějící požadavky nutné pro provedení zkoušky (např. vypuštění vody).
- Kategorie dotčených svarových spojů.
- Předpisy pro zkoušení a pro hodnocení, instrukce či metodiky pro provedení kontroly.
- Označení skupiny, která zkoušku nebo kontrolu provádí či zajišťuje.

Součástí programu kontrol je i výkresová dokumentace. Slouží především k znázornění kontrolních míst, pro které je vhodné a žádoucí slovní vyjádření místa kontroly doplnit grafickou formou. Dále pak pro znázornění rozsahu místa kontroly, doplnění rozměrů a tolerancí. Podporuje rovněž přehlednost a snižuje možnost záměny.

14.2.4 Výsledky kontrol a řešení neshod

Výstupem každé kontroly je protokol s výsledkem kontrol. Pokud výsledek kontroly neodpovídá kritériím přijatelnosti je vypracováno takzvané technické řešení neshody. Výsledkem pak mohou být následující stavy:

- Je provedena oprava s následným provedením kontroly po opravě metodou, kterou byla neshoda zjištěna.
- Oprava nebyla provedena a je zpracována analýza s ohledem na ovlivnění bezpečnosti dalšího provozu. Zařízení je uvedeno do dalšího provozu s definovaným omezením (např. omezení trendů změny teploty) a připravována oprava v příštím období.
- Oprava nebyla provedena a je zpracována analýza s ohledem na ovlivnění bezpečnosti dalšího provozu. Zařízení je uvedeno do dalšího provozu bez omezení, přičemž zpravidla bývá zkrácen interval do další kontroly.

Změny programu provozních kontrol jsou zpracovávány jedenkrát ročně a předkládány ke schválení SÚJB. Změna programu ve směru redukce rozsahu kontrol nebo prodloužení intervalu kontrol musí být schválena dodavatelem příslušného zařízení.

14.3 Plán provozních zkoušek

Pod termínem Plán provozních zkoušek se rozumí soubor zkoušek, testů a kontrol, které nejsou přímou součástí Programu provozních kontrol (viz kap. 14.2).

14.3.1 Účel programu provozních zkoušek

Plán provozních zkoušek se skládá z řady dílčích plánů zkoušek, testů a kontrol, které vycházejí z požadavků limit a podmínek (viz kap. Error: Reference source not found) na kontroly a zkoušky jednotlivých systémů, požadavky provozních předpisů, jež reflektují požadavky výrobce příslušného zařízení, dodavatele a provozní zkušenosti. Jednotlivé dílčí plány zkoušek, testů a kontrol jsou specifikovány především v provozních předpisech, provozních instrukcích a operativních programech. Plány provádění provozních zkoušek jsou členěny podle příslušných odborností:

- Plán kontrol a pravidelných činností obsluh primární části
- Plán kontrol a pravidelných činností obsluh sekundární části
- Plán kontrol a pravidelných činností směnového personálu měření a regulace
- Plán kontrol a pravidelných činností řídícího směnového personálu
- Plán kontrol a pravidelných činností obslužného personálu chemického provozu
- Plán kontrol a pravidelných činností – technologické informační systémy
- Plán kontrol a pravidelných činností obslužného personálu elektro
- Plán kontrol a zkoušek pro vybraná zařízení systémů kontroly a řízení

Metodické postupy odpovídají technologickému členění zařízení JE Dukovany:

- Fyzikální testy
- Technologické testy vybraných zařízení bloku
- Metodika zkoušek ochran a blokád primárního okruhu
- Metodika zkoušek ochran a blokád sekundárního okruhu
- Harmonogram přejíždění pohonů a zkoušek ochran a blokád a harmonogram zkoušek Automatiky postupného spouštění (ELS) a dieselgenerátorů

Tyto dokumenty obsahují přehled a metodiky provádění pravidelných průběžných a periodických kontrol, testů a zkoušek zařízení ve smyslu platných limit a podmínek a provozních předpisů. Je v nich stanovena periodičnost, způsob provádění a vyhodnocení výsledků, způsob vedení a ukládání záznamů o provedených činnostech. Činnosti při provádění pravidelných průběžných a periodických kontrol a zkoušek mohou být

operativně upřesněny v zadání denního plánu provozu nebo operativního programu pro náběh bloku.

14.3.2 Rozsah a obsah programu provozních zkoušek

Výše uvedené programy a metodiky zahrnují provádění zkoušek a kontrol v celém rozsahu provozu, a to jak za provozu reaktoru na výkonu, tak v době odstávek a náběhu bloku. Důraz je položen na provádění činností v návaznosti na jadernou, radiační a provozní bezpečnost a zásady bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Programy provozních zkoušek jsou vzájemně svázány s provozními předpisy pro daná zařízení (z důvodu bližší specifikace zařízení, parametrů, speciálních manipulací a kritérií úspěšnosti). Součástí dokumentace jsou vždy harmonogramy činností (stanovena periodicita, druh, zodpovědnost) a to ve většině případů v tabulkové formě.

Pro jednotlivé činnosti je konkretizován způsob provedení nebo je proveden odkaz na příslušný provozní předpis, ve kterém je postup provozní zkoušky podrobně popsán. V případě potřeby jsou činnosti při provozní kontrole dále konkretizovány (v případě speciálních činností). Vždy je uvedena konkrétní zodpovědnost za provádění a kontrolu provedené činnosti. Stanoven je způsob dokladování (provozní záznamy, protokoly) a způsob archivace. Kritéria úspěšnosti při provádění jednotlivých provozních zkoušek jsou dána jednotlivými provozními předpisy, případně jsou stanovena v další dokumentaci. V dokumentaci je často z důvodů přehlednosti a srozumitelnosti používána tabulková forma zápisu. O provedení kontrol a zkoušek musí být učiněn zápis v příslušném provozním deníku.

14.3.2.1 Plán kontrol a pravidelných činností obsluh primární části

Tento plán obsahuje harmonogram pravidelných činností, který je specifikován podle periody, druhu činnosti a zodpovědné funkce. Specifikovány jsou následující kontroly v rozsahu celého zařízení primárního okruhu JE Dukovany:

- Pochůzková kontrola operativního personálu (zaměřena na kontrolu celistvosti zařízení, identifikaci malých úniků médií (tzv. úkapy), stav izolace potrubí, průchodnost únikových tras, kontrola chodu soustrojí poslechem, pořádek v pochůzkových prostorách atd.)
- Kontrola a mazání soustrojí (mazací plán).
- Pravidelné zkoušky pojistných ventilů tlakových celků dle požadavků norem a IPZJ nebo technických podmínek výrobce.
- Doplňování hydrouzávěrů u nádrží a některých potrubních tras.
- Kontrola tlakových nádob stabilních.

14.3.2.2 Plán kontrol a pravidelných činností obsluh sekundární části

Tento plán obsahuje harmonogram pravidelných činností, který je specifikován podle periody, druhu činnosti a zodpovědné funkce. Specifikovány jsou následující kontroly v rozsahu celého zařízení sekundárního okruhu JE Dukovany:

- Pochůzková kontrola operativního personálu (zaměřena na kontrolu celistvosti zařízení, identifikaci malých úniků médií (tzv. úkapy), stav izolace potrubí, průchodnost únikových tras, kontrola chodu soustrojí poslechem, pořádek v pochůzkových prostorách atd.)
- Kontrola a mazání soustrojí (mazací plán).
- Pravidelné zkoušky pojistných ventilů tlakových celků dle požadavků norem a IPZJ nebo technických podmínek výrobce.
- Kontrola tlakových nádob stabilních.

14.3.2.3 Plán kontrol a pravidelných činností směnového personálu MaR

Tento plán obsahuje harmonogram pravidelných činností personálu skupiny měření a regulace (MaR), který je specifikován podle periody, druhu činnosti a zodpovědné funkce. Specifikovány jsou kontroly v rozsahu celého zařízení systémů kontroly a řízení JE Dukovany. V přílohách pro provádění činností jsou tabulkovou formou konkretizovány pokyny pro jednotlivé činnosti, například kontroly signalizací, seznamy snímačů a podobně. Pozornost je věnována odlišnostem v provedení zařízení dle reaktorových bloků.

14.3.2.4 Plán kontrol a pravidelných činností řídícího směnového personálu

Plán kontrol obsahuje popis činností směnového řídícího personálu. Je členěn podle jednotlivých funkčních míst na činnosti směnového inženýra, vedoucího reaktorového bloku, operátora primárního okruhu a operátora sekundárního okruhu. Plán popisuje kontrolní činnosti v průběhu směny, způsob přebírání směny (se specifikací dle provozního režimu bloku) a pravidelné činnosti. Zvláštní pozornost je věnována evidenci případných závad.

14.3.2.5 Plán kontrol a pravidelných činností obslužného personálu chemického provozu

Plán kontrol obsahuje pokyny a harmonogramy pravidelných činností pro jednotlivé pracovníky chemického provozu. Harmonogramy jsou specifikovány podle periody, druhu činnosti a zodpovědné funkce. Jednotlivé kapitoly pak specifikují pracovní pokyny k provádění pravidelných činností pracovníků v návaznosti na příslušné provozní předpisy.

14.3.2.6 Plán kontrol a pravidelných činností – technologické informační systémy

Plán kontrol obsahuje pokyny a harmonogramy pravidelných činností pro jednotlivé pracovníky technologických informačních systémů. Harmonogramy jsou specifikovány podle periody, druhu činnosti a zodpovědné funkce. Jednotlivé kapitoly pak specifikují pracovní pokyny k provádění pravidelných činností jednotlivých pracovníků v návaznosti na provozní předpisy. Zvláštní pozornost je věnována pochůzkové činnosti a kontrolám na zařízeních PCS (technologický informační systém), IN-CORE (měření uvnitř aktivní zóny reaktoru), SCORPIO (operativní výpočty provozních parametrů aktivní zóny), DIAG (diagnostický systém), PC technice a terminálech.

14.3.2.7 Plán kontrol a pravidelných činností obslužného personálu elektro

Plán kontrol obsahuje pokyny a harmonogramy pravidelných činností pro jednotlivé pracovníky skupiny elektro. Harmonogramy jsou specifikovány podle periody, druhu činnosti a zodpovědné funkce. Jednotlivé kapitoly pak specifikují pracovní pokyny k provádění pravidelných činností pracovníků v návaznosti na příslušné provozní předpisy.

14.3.2.8 Plán kontrol a zkoušek pro vybraná zařízení systému kontroly a řízení

Plán kontrol obsahuje přehled pravidelných průběžných kontrol a zkoušek vybraných zařízení systémů kontroly a řízení ve smyslu platných limit a podmínek. Popisuje periodičnost, způsob provádění, stručnou náplň, způsob vedení a způsob ukládání záznamů o provedených činnostech.

Předpis se týká speciálních činností, funkčních zkoušek na zařízeních:

- RTS (systém pro odstavení reaktoru).
- ESFAS (systém iniciace bezpečnostních systémů).

- RLS (limitační systém reaktoru).
- SAS (systém pro podpůrné zásahy)
- RCS (řídicí systém reaktoru).
- RRCS (ovládání regulačních kazet reaktoru)
- SGPS (systém ochran parogenerátorů).
- PAMS (systém pohavarijního měření důležitých parametrů).
- IN-CORE (systém měření uvnitř aktivní zóny reaktoru).
- EX-CORE (systém měření neutronového toku vně reaktoru).
- DIAG (diagnostický systém)
- ŘSBB(N), ŘSBT, ŘSBP, ŘSBS (systémy řízení bloku).

Jednotlivé činnosti jsou specifikovány v tabulkové formě (četnost, náplň, kdo zadává práci, kdo provádí, kdo řídí, vyhodnocení, případně další podrobnosti). O provedených zkouškách jsou vystaveny protokoly, které jsou uloženy definovaným způsobem.

14.3.2.9 Fyzikální testy

Dokument obsahuje databanku popisů fyzikálních testů, bezpečnostní a organizační opatření, určuje odpovědnost za provedení jednotlivých činností a definuje kritéria hodnocení testů. Testy jsou prováděny při náběhu bloku v pořadí, stanoveném operativním programem pro náběh bloku (při spouštění po výměně paliva nebo spouštění po odstávce bloku bez výměny paliva). Jsou přesně stanovena bezpečnostní opatření, podmínky k provedení, práva a povinnosti, zajištění jaderné bezpečnosti. Vyžaduje-li provádění některého z testů další opatření, jsou tato uvedena v rámci popisu příslušného testu. Pozornost je věnována přesnému časovému plánování jednotlivých testů.

Předběžné a konečné hodnocení testů ve formě protokolů o provedení jednotlivých testů se předává na SÚJB v daných termínech. Test je nutno zopakovat v případě nesplnění bezpečnostního kritéria (respektive bezpečnostních kritérií). Při nesplnění kritéria přijatelnosti (respektive kritérií přijatelnosti) není možno pokračovat v náběhu bloku. Situaci a další postup je třeba projednat se SÚJB ještě před zahájením přechodu reaktoru do režimu 1 (výkonový provoz).

14.3.2.10 Technologické testy vybraných zařízení bloku

Dokument popisuje testy, které se týkají aktivní zóny reaktoru, a které jsou prováděny v rámci spouštění bloku po výměně paliva při provozu reaktoru na výkonu. Zařazení konkrétního testu do programu spouštění stanovuje operativní program náběhu bloku po výměně paliva. Tento program obsahuje název testu a odkaz na odpovídající kapitolu v tomto provozním předpisu. Dále stanovuje příslušnou výkonovou hladinu, na které je test prováděn.

Testy mohou být prováděny i mimo rámec spouštění bloku po výměně paliva. Potom jsou uvedené testy prováděny na základě bodu v denním plánu provozu nebo operativním programu. Uvedená dokumentace musí obsahovat odkaz na odpovídající kapitolu tohoto předpisu, případně další doplňující informace.

Testy jsou jednotně vyhodnocovány a srovnávány (v rámci bloku a v rámci elektrárny v jednotlivých kampaních). Test je nutno zopakovat v případech nevyhovujících bezpečnostních kritérií. Jsou přesně stanovena bezpečnostní opatření, podmínky k provedení, práva a povinnosti a zajištění jaderné bezpečnosti. Vyžaduje-li provádění některého z testů další opatření, jsou tato uvedena v rámci popisu příslušného testu. Pozornost je věnována přesnému časovému plánování jednotlivých testů.

14.3.2.11 Metodika zkoušek ochran a blokád primárního okruhu

Dokument obsahuje manipulační postupy provádění zkoušek ochran a blokád na zařízení primárního okruhu, řízené a prováděné z blokové dozorny. Metodika zkoušek je rozdělena podle zkoušených technologických systémů. Některé systémy jsou zvlášť

rozpracovány pro zkoušky před náběhem bloku a popřípadě za provozu bloku. Metodika ostatních systémů slouží pro jakýkoliv stav bloku, s některými změnami nebo opatřeními, které jsou zvýrazněny uvnitř textu. Obsah metodik je tabulkovou formou dělen na počáteční podmínky, výchozí stav, činnost, simulace, odezvu a konečný stav.

Zkoušky ochran a blokád musí být prováděny na daném zařízení i mimo harmonogram po opravách na zařízení, při kterých byly odpojeny přístroje, které jsou součástí ochran a blokád. V tomto případě se provede zkouška pouze příslušné ochrany nebo blokády, do které bylo zasahováno. Pokud nebyla zkouška ochran a blokád uskutečněna v termínu podle harmonogramu, musí směna, která prověrku neprovedla, splnit úkol v nejbližším termínu. Nesplnění úkolu (provedené příslušné zkoušky) v termínu je vedoucí reaktorového bloku povinen odůvodnit a zaznamenat do provozního deníku.

Kritéria úspěšnosti jsou jasně stanovena. Zkouška je úspěšná, pokud je provedena podle příslušné kapitoly tohoto předpisu a jednotlivé odezvy odpovídají a jsou v souladu s tabulkou ochran a blokád.

14.3.2.12 Metodika zkoušek ochran a blokád sekundárního okruhu

Dokument obsahuje manipulační postupy provádění zkoušek ochran a blokád na zařízení sekundárního okruhu. Má dvě části, přičemž jedna slouží pro řízení a manipulace operativním řídicím personálem z blokové dozorny, druhá pak k manipulacím personálu měření a regulace při simulacích na zařízení systému kontroly a řízení.

Metodika zkoušek je rozdělena podle zkoušených technologických systémů. Metodika slouží pro jakýkoliv stav bloku, s některými změnami nebo opatřeními, které jsou zvýrazněny uvnitř textu. Obsah metodik je tabulkovou formou dělen na počáteční podmínky, výchozí stav, činnost, simulace, odezvu a konečný stav.

Zkoušky ochran a blokád musí být prováděny na daném zařízení i mimo harmonogram po opravách na zařízení, při kterých byly odpojeny přístroje, které jsou součástí ochran a blokád. V tomto případě se provede zkouška pouze příslušné ochrany nebo blokády, do které bylo zasahováno. Pokud nebyla zkouška ochran a blokád uskutečněna v termínu podle harmonogramu, musí směna, která prověrku neprovedla, splnit úkol v nejbližším termínu. Nesplnění úkolu (provedené příslušné zkoušky) v termínu je vedoucí reaktorového bloku povinen odůvodnit a zapsat do provozního deníku.

Kritéria úspěšnosti jsou jasně stanovena. Zkouška je úspěšná, pokud je provedena podle příslušné kapitoly tohoto předpisu a jednotlivé odezvy odpovídají a jsou v souladu s tabulkou ochran a blokád.

14.3.2.13 Provozní instrukce a operativní programy

Formou provozní instrukce je každoročně vydáván plán přejíždění pohonů a zkoušek ochran a blokád a dále harmonogram zkoušek ELS a dieselgenerátorů pro jednotlivé bloky. Tím je zajištěno to, že se zkoušky na jednotlivých blocích časově nepřekrývají a je možno použít specialistů, kteří jsou třeba k provedení některých speciálních záznamů průběhů zkoušek nebo simulací.

V operativních programech pro odstávku a náběh bloku jsou specifikovány požadavky na kontroly a testy včetně návazností na příslušné provozní předpisy. Tím je zajištěno, že jsou provedeny všechny potřebné testy včetně nestandardních, jejichž potřeba může vyplynout buď z otestování zařízení před odstávkou (ověření jeho kondice v návaznosti na plánované zásahy údržby), nebo z prací na zařízení, provedených v průběhu odstávky (ověření úspěšnosti údržbářského zásahu).

14.3.3 Výsledky zkoušek a řešení neshod

Všechny provozní zkoušky, kontroly a pravidelné činnosti jsou při záznamu o jejich provedení vyhodnoceny. Pro vyhodnocení kritérií přijatelnosti slouží buď provozní předpis pro dané zařízení, nebo jsou kritéria upřesněna v dané metodice zkoušky, případně v operativním programu. Pro účel vyhodnocení se používají různé technické metody záznamu provozních parametrů zařízení, například archiv parametrů, pravidelné odečty, záznamy do protokolů a podobně.

Za řešení neshod, tedy nesouladu mezi výsledky provozní zkoušky a kontroly a stanovenými kritérii úspěšnosti, zodpovídá vedoucí dané zkoušky dle příslušné metodiky. Neshoda musí být oznámena vedoucímu reaktorového bloku, směnovému inženýrovi a případně dalším zúčastněným. Po posouzení konkrétní neshody z hlediska provozuschopnosti zařízení rozhodne vedoucí zkoušky o případném opakování zkoušky (kontroly).

Dopad nevyhovující zkoušky nebo kontroly ve vztahu k požadavkům limit a podmínek řeší vedoucí reaktorového bloku dle předepsaného postupu (viz kap. Error: Reference source not found této zprávy).

14.4 Zkoušky při uvádění EDU do provozu po odstávce pro výměnu paliva

Uvádění jednotlivých reaktorových bloků EDU do provozu po odstávce pro výměnu paliva je z hlediska testování zařízení tvořeno širokým komplexem testů, prověrek a zkoušek. Tyto probíhají na jednotlivých komponentech a technologických systémech. Při zkoušení se vždy postupuje podle provozního předpisu pro příslušná zařízení, ve kterých jsou kromě nominálních stavů popsány i zkoušky při náběhu zařízení. Tyto předpisy a zkoušky nebudou předmětem popisu v této kapitole.

Pro některé speciální zkoušky a testy jsou vytvořeny speciální předpisy, které budou předmětem popisu v této kapitole. Na náročné testy a zkoušky jsou vytvořeny technologické postupy, kde jsou popsány činnosti jednotlivých odborností, které se zkoušek a testů účastní.

Pro zkoušky a testy jsou obecně stanoveny následující body, které jsou konkretizovány v každém daném předpisu nebo postupu:

- **Cíl zkoušky** popisuje, čeho je třeba dosáhnout, co ověřit danou zkouškou.
- **Organizační a bezpečnostní opatření** stanovují odpovědnosti osob a potřebná opatření.
- **Výchozí stav** uvádí stav bloku a podmínky, které musí být splněny před zahájením zkoušky nebo manipulace pro dosažení výchozího stavu. Popisuje i možné tolerance ve výchozím stavu.
- **Postup zkoušky** je popis vlastních činností, potřebných k dosažení cíle testu a odezvy na činnosti.
- **Konečný stav** je stav, do kterého se dostane zařízení po proběhnutí zkoušky. Popisuje i možné odchylky od ideálního koncového stavu.
- **Kritéria úspěšnosti zkoušky** a vyhodnocení obsahuje například parametry, kterých musí být dosaženo v rámci zkoušky včetně povolených tolerancí nebo činnost a odezvy zařízení.
- **Evidence a dokumentace** určuje způsob dokladování zkoušek a testů. Jedná se například o protokoly, zápisy do provozních deníků, knih evidence atd.

Jednotlivé body jsou konkretizované v dané dokumentaci (programu) zkoušky.

14.4.1 Soubor zkoušek a testů při uvádění EDU do provozu po výměně paliva

Při uvádění jaderného bloku do provozu po odstávce pro výměnu paliva probíhá většina zkoušek a testů dle příslušných provozních předpisů. Složité a speciální manipulace jsou pak dále rozvedeny v technologických postupech pro jednotlivé odbornosti pracovníků. Na speciální zkoušky a testy jsou vytvořeny speciální předpisy a postupy. Jedná se především o tyto zkoušky:

- Zkoušky ochran a blokád primárního a sekundárního okruhu (viz kap. 14.3.2)
- Tlakové zkoušky primárního a sekundárního okruhu
- Testy bezpečnostních systémů a systémů souvisejících s bezpečností (ESFAS, SAS, SGPS)
- Testy ochranných systémů (RTS, RLS)
- Režimové automatiky systému zajištěného napájení 2. kategorie
- Fyzikální testy aktivní zóny reaktoru
- Technologické testy

14.4.1.1 Tlakové zkoušky primárního okruhu

Tlakové zkoušky primárního okruhu jsou rozčleněny dle účelu a tomu odpovídající úrovni, na kterou je primární okruh tlakován, na tři druhy:

- Zkouška natlakováním na 0,5 MPa a 3,4 MPa (kontrola celistvosti montáže zařízení po odstávce)
- Těsnostní tlaková zkouška na 13,7 MPa.
- Pevnostní tlaková zkouška na 16,34 MPa.

Zkouška natlakováním na 0,5 a 3,4 MPa se provádí v úvodní fázi náběhu bloku v režimu přirozené cirkulace chladiva (bez zapnutých hlavních cirkulačních čerpadel). Konkretizována je v operativním programu náběhu bloku. Hranice tlakového celku jsou určeny hraničními armaturami. Kritéria úspěšnosti jsou následující:

- V prostoru anuloidu hlavní dělicí roviny reaktoru nesmí docházet k nárůstu tlaku.
- Na dělicí rovině příruby průlezu kompenzátoru objemu a hlavních dělicích rovinách hlavních cirkulačních čerpadel nesmí docházet k nárůstu tlaku.
- Tlakový celek primárního okruhu, svarové spoje, přírubové spoje a dělicí roviny nesmí vykazovat netěsnosti.

O zkoušce se provádí zápis do provozních deníků.

Těsnostní tlaková zkouška primárního okruhu na 13,7 MPa se provádí v případě demontáže a zpětné montáže přírubového spoje kdekoli na tlakovém celku primárního okruhu po ukončení náhřevu tlakové nádoby reaktoru nad teplotu křehkého lomu. Pokud je třeba provést zkoušku jen na části tlakového celku (například pokud došlo pouze k roztěsnění přírub na SVO 1), lze zkoušku provést samostatně jen na části zařízení. Tlak v systému je měřen kontrolním manometrem a porovnáván s měřením na blokové dozorně.

Hranice tlakového celku jsou určeny hraničními armaturami. Kritéria úspěšnosti jsou následující:

- Na zařízení primárního okruhu nejsou nalezeny úniky médií, nedochází k rosení svarových nebo přírubových spojů a deformacím zařízení.
- Únik přes koncový stupeň ucpávky hlavních cirkulačních čerpadel je max. 50 l/h.

- Nesmí docházet k opakovanému[46] zvyšování tlaku v dutině anuloidu hlavní dělicí roviny reaktoru.
- Průlez kompenzátoru objemu a meziprostor těsnících komponent hlavní dělící roviny hlavních cirkulačních čerpadel musí být těsný.

Při převýšení tlaku v ostatních dělicích rovinách komponent tlakového celku primárního okruhu rozhodne o dalším postupu správce příslušného zařízení. O těsnostní tlakové zkoušce se provádí zápis do provozních deníků. Zkoušky se účastní revizní technik, který provádí kontrolu a vystavuje protokol o tlakové zkoušce (průběh tlakové zkoušky, parametry, zjištěné závady, jejich odstranění, verdikt o úspěšnosti).

Pevnostní tlaková zkouška primárního okruhu na 16,34 MPa se provádí 1 x za 8 let nebo po opravách na primárním okruhu, u nichž je tato zkouška předepsána dokumentací opravy. Pevnostní tlaková zkouška se provádí v režimu 4, kdy probíhá náhřev bloku. Rozsah tlakového zařízení je dán seznamem hraničních armatur primárního okruhu. Dle rozsahu prací na primárním okruhu může být rozsah tlakovaného celku upraven operativním programem. Tlak v systému je měřen kontrolním manometrem a porovnáván s měřením na blokové dozorně. Podmínky provedení zkoušky jsou následující:

- Zkušební přetlak primárního okruhu 16,34 MPa, u SVO 1 14,7 MPa.
- Povolené kolísání tlaku od hodnoty 16,34 MPa je +5 a -1 %, tj. 16,18 až 17,15 MPa.
- Povolené kolísání tlaku od hodnoty 14,7 MPa (SVO 1) je +5 a -1 %, tj. 14,55 až 15,43 MPa.
- Při nedodržení povoleného kolísání tlaku je třeba znovu odpočítávat čas, stanovený pro výdrž na dané tlakové úrovni.

Kritéria úspěšnosti jsou následující:

- Na sledovaném zařízení nejsou trhliny, praskliny, netěsnosti svarových spojů ani trvalé deformace.
- Na zaizolovaných částech potrubí nebyl zjištěn únik média.
- V případě natlakování některé dělicí roviny po kontrole tlaku na místním měření je tato dělicí rovina odtlakována a je sledován trend opětovného nárůstu tlaku. O dalším postupu pak rozhodne správce příslušného zařízení.

O pevnostní tlakové zkoušce se provádí zápis do provozních deníků. Zkoušky se účastní revizní technik, který provádí kontrolu a vystavuje protokol o tlakové zkoušce (průběh tlakové zkoušky, parametry, zjištěné závady, jejich odstranění, verdikt o úspěšnosti). Zkušební přetlak a tlaky musí být dosaženy, avšak nesmí být překročeny.

14.4.1.2 Tlakové zkoušky sekundárního okruhu

Tlakové zkoušky sekundárního okruhu jsou rozčleněny dle účelu a tomu odpovídající úrovni, na kterou je sekundární okruh tlakován, na dva druhy:

- Těsnostní tlaková zkouška na 5,6 MPa.
- Pevnostní tlaková zkouška na 7,6 MPa.

Těsnostní tlaková zkouška se provádí na celém sekundárním okruhu na úrovni tlakového celku napájecí vody včetně všech parogenerátorů a parovodů. Rozsah tlakovaného celku pevnostní tlakové zkoušky je vždy stanoven operativním programem dle rozsahu prací, které byly v průběhu odstávky prováděny.

Tlaková těsnostní zkouška sekundárního okruhu se provádí při náběhu bloku z běžné nebo generální opravy v režimu 4 dle limit a podmínek. Tlaková těsnostní zkouška se provádí zkušebním tlakem napájecí vody 5,6 MPa prací jednoho nebo dvou pomocných napájecích čerpadel při dodržení stanoveného trendu zvyšování nebo

[46] Pokud dojde k natlakování anuloidu v průběhu tlakové zkoušky (je možné termické natlakování), provede se odtlakování prostoru anuloidu a opakovaná výdrž na kontrolním tlaku. Pokud však dojde k druhému natlakování anuloidu, je tlaková zkouška nevyhovující a hlavní dělicí rovina reaktoru se musí přetěsnit.

snižování tlaku. Tlak v systému je měřen kontrolním manometrem a porovnáván s měřením na blokové dozorně.

Cílem tlakové těsnostní zkoušky sekundárního okruhu je ověřit těsnost vík vodních komor vysokotlakých ohříváků, spojových ploch armatur sekundárního okruhu, spojových ploch teploměrných jímek, svarů odvodnění, odběrových ventilů měření a chemických odběrových ventilů a zařízení sekundárního okruhu, nacházejícího se uvnitř kontrolovaného pásma. Kritéria úspěšnosti jsou následující:

- Kontrolované spoje na zařízení v tlakovém celku jsou dle posudku revizního technika těsné.
- V případě netěsností na ostatních spojích v tlakovém celku rozhodne o dalším postupu správce příslušného zařízení.

O těsnostní tlakové zkoušce se provádí zápis do provozních deníků. Zkoušky se účastní revizní technik, který provádí kontrolu a vystavuje protokol o tlakové zkoušce (průběh tlakové zkoušky, parametry, zjištěné závady, jejich odstranění, verdikt o úspěšnosti).

Tlaková pevnostní zkouška se provádí za stejných podmínek jako těsnostní tlaková zkouška, avšak prací jednoho elektronapájecího čerpadla zkušebním tlakem napájecí vody 7,6 MPa po dobu 10 minut při dodržení stanoveného trendu zvyšování nebo snižování tlaku. Tlak v systému je měřen kontrolním manometrem a porovnáván s měřením na blokové dozorně. Po uvedeném čase se tlak snižuje na 6,18 MPa a provádí se obhlídka.

Cílem tlakové pevnostní zkoušky sekundárního okruhu je ověřit pevnost svarových spojů po výměně (opravě) komponent na sekundárním okruhu v rámci odstávky, pevnost vík vodních komor vysokotlakých ohříváků, opravovaných spojových ploch teploměrných jímek, svarů odvodnění, chemických odběrů a odběrových ventilů měření po provedených opravách a opravovaného zařízení sekundárního okruhu, nacházejícího se v kontrolovaném pásmu. Kritéria úspěšnosti jsou následující:

- Tlakový celek vyhovuje kritériím pro pevnostní tlakovou zkoušku dle posudku revizního technika.
- V případě netěsnosti rozebíratelných spojů (příruby, dělicí roviny atd.) po pevnostní zkoušce i při snížení tlaku na 5,6 MPa rozhodne o dalším postupu správce příslušného zařízení.

O pevnostní tlakové zkoušce se provádí zápis do provozních deníků. Zkoušky se účastní revizní technik, který provádí kontrolu a vystavuje protokol o tlakové zkoušce (průběh tlakové zkoušky, parametry, zjištěné závady, jejich odstranění, verdikt o úspěšnosti).

14.4.1.3 Testy bezpečnostních systémů a systémů souvisejících s bezpečností

Cílem zkoušek a testů je prověřit funkčnost signálů ESFAS s průchodem na zařízení dle projektu elektrárny. Vyhodnocení zkoušky se provádí v souladu se schválenými kritérii, uvedenými pro jednotlivé části zkoušky. Vzhledem k návaznosti signálů ze ESFAS na SAS-N se provádí funkční zkouška ESFAS vždy současně s funkční zkouškou působení SAS-N na navazující zařízení. Zkoušky se provádí na následujících systémech:

- ESFAS – systém zajištění bezpečnosti (včetně systému SAS, který je proveden v rámci systému ESFAS).
- SAS-N – systém pro podpůrné zásahy – nesystém.
- SGPS – systém ochran parogenerátorů

Veškeré zkoušky zařízení ESFAS a SAS-N po odstávce bloku jsou prováděny v režimu 6 nebo v režimu 5 při $T_{I.O.}$ < 70 °C (dle limit a podmínek). Zkouška se skládá ze sady dílčích testů:

- Prověrka pohyblivosti akčních členů ESFAS a SAS-N.

- Zkouška ESFAS a SAS-N s výstupem na všechny akční členy s čerpadly bezpečnostních systémů v revizní poloze[47] a se zkouškou průchodnosti signálů ESFAS a SAS-N od manuálních ovládacích prvků z blokové dozorny a z LoP-A (B).
- Funkční zkoušky působení SGPS na navazující zařízení.

O každé zkoušce, jejím průběhu a výsledcích se provádějí zápisy do provozních deníků a vystavují se protokoly o zkoušce.

14.4.1.4 Testy ochranných systémů

Cílem zkoušek a testů je prověřit funkčnost systému RTS (havarijní odstavení reaktoru) a RLS (limitační systém reaktoru). Vyhodnocení zkoušky se provádí v souladu se schválenými kritérii, uvedenými pro jednotlivé části zkoušky. Testy ochranných systémů jsou standardně prováděny v tomto rozsahu:

- Zkouška odblokování ochrany RLS při změně výběrové logiky v LoP-A
- Zkouška reálného působení limitačního systému RLS (HO-3) snížením hladiny ve dvou ze šesti parogenerátorů.
- Měření doby pádu všech skupin havarijních a regulačních kazet.
- Zkouška reálného působení RTS iniciací funkce LoP-A a LoP-B
- Zkouška ručních povelů na vypnutí všech RTB (silových vypínačů napájení pohonů havarijních a regulačních kazet)

O každé zkoušce, jejím průběhu a výsledcích se provádějí zápisy do provozních deníků a vystavují se protokoly o zkoušce.

14.4.1.5 Režimové automatiky systému zajištěného napájení 2. kategorie

Cílem zkoušky je prověřit funkčnost automatik zajištěného napájení 2. kategorie spolu se startem dieselgenerátorů, jeho úspěšným zatížením a ověřením spolehlivosti jeho chodu. Testy jsou standardně prováděny za normálního provozu bloku v tomto rozsahu:

- Kontrola provozuschopnosti režimových automatik zajištěného napájení 2. kategorie, dieselgenerátorů a start ELS za provozu.
- Tříminutový chod dieselgenerátorů a zkouška pohonů, napájených z 2. kategorie zajištěného napájení.

Po odstávce jsou na reaktorovém bloku prováděny rozšířené testy:

- Kontrola provozuschopnosti režimových automatik zajištěného napájení 2. kategorie a provozuschopnost dieselgenerátorů.
- Test úplné ztráty napájení vlastní spotřeby.

O zkouškách se vystavují protokoly. V protokolech jsou zachyceny výchozí stavy, průběh kontroly, výsledek a případné závady. Je zde potvrzena úspěšnost, případně neúspěšnost kontroly.

14.4.2 Fyzikální testy a technologické testy vybraných zařízení bloku

Fyzikální testy pro uvedení aktivní zóny reaktoru do kritického stavu jsou na JE Dukovany prováděny podle provozního předpisu. Tento provozní předpis prochází pravidelnými revizemi dle požadavků na zajištění jakosti místních provozních předpisů.

[47] Jedenkrát za čtyři roky se provádí zkouška ESFAS spolu se zkouškou provozuschopnosti zařízení a ztrátou napětí zajištěného napájení 2. kategorie s čerpadly bezpečnostních systémů v pracovní poloze.

14.4.2.1 Fyzikální testy při uvádění aktivní zóny do kritického stavu

Pro každý prováděný test jsou stanoveny:

- Cíl testu.
- Bezpečnostní a organizační opatření.
- Výchozí stav.
- Postup testu.
- Konečný stav.
- Kritéria hodnocení a vyhodnocení testu.
- Evidence a dokumentace testu.

Vyžaduje-li provádění některého z testů další organizační opatření, jsou tato uvedena v rámci popisu příslušného testu. V případě požadavku na provedení jiného testu, než je uvedeno v daném provozním předpisu, je pro realizaci tohoto testu na JE Dukovany zpracován a vydán operativní program nebo provozní instrukce zahrnující požadavky uvedené výše. Totéž platí, pokud je pro provedení testu třeba použít modifikovaný postup.

Testy jsou prováděny v rozsahu a pořadí, stanoveném v operativním programu pro náběh bloku (při spouštění po výměně paliva nebo spouštění po odstávce bloku bez výměny paliva) nebo v ostatních případech v denním plánu provozu.

Při nesplnění kritéria přijatelnosti (resp. kritérií přijatelnosti) u fyzikálních testů je nutno další postup konzultovat a projednat se SÚJB ještě před zahájením přechodu bloku do režimu 1 dle limit a podmínek. Předběžné hodnocení testů ve formě protokolů o provedení jednotlivých testů se předává na SÚJB ve stanovených termínech takto:

- Pro fyzikální testy realizované v režimu 2 při spouštění po výměně paliva nejpozději před přechodem do režimu 1.
- Pro ostatní fyzikální testy do tří dnů po provedení testu.

Konečné hodnocení fyzikálních testů je SÚJB předloženo v následujících termínech:

- Pro fyzikální testy realizované při spouštění po výměně paliva do jednoho měsíce po ukončení spouštění.
- Pro ostatní fyzikální testy do jednoho měsíce po jejich provedení.

Během fyzikálního testu je třeba dodržovat následující zásady:

- Musí být provozuschopné všechny komplety RTS a ESFAS, včetně obvodů signalizace. Je zakázáno zahájit a provádět test při neprovozuschopnosti libovolného kompletu RTS nebo ESFAS.
- Je-li během testu libovolný z kompletů přepnut do režimu „zkouška“ nebo se stane neprovozuschopným, je nutno provádění testu přerušit.[48]
- Nastavení bezpečnostních ochran reaktoru a varovné signalizace musí být v souladu s příslušným provozním předpisem.
- Pokud se situace v průběhu testu odlišuje od stavu, který je popsán v příslušném testu, nebo při vzniku provozního stavu, který by mohl vést k technologicky nebo jaderně nebezpečné situaci, je nutno okamžitě zastavit a jednoznačně přerušit vnos kladné reaktivity, přerušit realizaci testu a zajistit ustavení bezpečného a kontrolovaného provozního stavu.
- K dalšímu plnění nebo opakování testu je možné přikročit až po odstranění příčin vzniku tohoto provozního stavu a po ustálení parametrů bloku. Dále je třeba vyjasnit všechny příčiny, které vedly k odklonu reálné situace od stavu, který se v testu předpokládal a byl popsán. K pokračování testu je třeba souhlas tří osob – bezpečnostního nebo směnového inženýra, vedoucího reaktorového bloku a provozních fyzika.
- Při manipulacích podle manipulačních příkazů musí být zajištěno trvalé spojení mezi osobami, které tyto manipulace provádějí, a blokovou dozornou.

[48] Výjimkou jsou testy, při kterých je přepnutí do režimu „zkouška“ nezbytné pro jejich provedení.

- Od dosažení hranice spouštěcího intervalu je dosahování minimálního kontrolovaného výkonu, případně obnova kritického stavu prováděna pod dozorem směnového nebo bezpečnostního inženýra, který musí být přítomen na blokové dozorně.

Během uvádění aktivní zóny reaktoru do kritického stavu a na výkonové hladině do 2% N_{nom} jsou prováděny následující testy:

- Dosahování kritického stavu reaktoru a dosažení minimálního kontrolovaného výkonu snižováním koncentrace H_3BO_3 v chladivu primárního okruhu.
- Kontrola spojení havarijních a regulačních kazet se svými pohony.
- Kontrola nastavení výpočtu reaktivity ve výpočetním systému.
- Dohřev chladiva primárního okruhu na 260 °C.
- Měření účinnosti systému havarijních a regulačních kazet při odstavení reaktoru ochranou RTS.
- Měření účinnosti systému havarijních a regulačních kazet se zablokovanou kazetou při odstavení reaktoru.
- Měření účinnosti šesté skupiny havarijních a regulačních kazet a účinnosti regulace reaktivity pomocí H_3BO_3 a měření účinnosti vystřelené HRK.
- Měření účinnosti šesté skupiny havarijních a regulačních kazet a účinnosti vystřelené havarijní a regulační kazety beze změny koncentrace H_3BO_3

Po uvedení reaktoru do kritického stavu se během postupného zvyšování výkonu provádějí další testy, které slouží k přesnému stanovení provozních koeficientů pro provoz reaktoru v následující palivové kampani. Jedná se o ověření výpočtových charakteristik a správnosti zavezení aktivní zóny reaktoru.

- Kalibrace teplotních čidel IN-CORE při izotermickém stavu.
- Kontrola rozložení výkonu v aktivní zóně a symetrie vývinu energie v aktivní zóně pro výkonový provoz reaktoru.
- Kontrola měření IN-CORE na N_{nom}.
- Korekce měření teplot termočlánky na smyčkách primárního okruhu po dosažení $N_{nom.}$

14.4.2.2 Technologické testy při kritickém reaktoru na výkonu

Po uvedení reaktoru do provozu jsou pomocí testů ověřovány další charakteristiky zařízení a je ověřována jejich připravenost pro další provoz z pohledu požadovaných projektových parametrů a dynamické odezvy jejich chování.

- Kalibrace měření ionizačními komorami EX-CORE.
- Testy přepouštěcích stanic do atmosféry (funkčnost a regulační činnost).
- Regulační armatury napájení parogenerátorů (kontrola zdvihu a seřízení ukazatele polohy, měření průtočných charakteristik malé i velké trasy).
- Testy regulace výkonu reaktoru systémem RCS (testy režimů „T“ a „N“, přechody z režimu „S“ a blokády regulace)
- Testy přepouštěcích stanic do kondenzátoru (testy regulace a zkouška blokád systému).
- Testy regulačních režimů elektrizační soustavy při provozu bloku (sekundární regulace).

15 Bezpečnostní rozbory

Hodnocení bezpečnosti jaderné elektrárny musí zahrnovat rozbory (analýzy) odezvy elektrárny na stanovené poruchy jejích parametrů a na poruchy nebo selhání zařízení. Takové bezpečnostní rozbory poskytují významný podklad pro stanovení omezujících podmínek pro provoz, pro nastavení bezpečnostních systémů a současně pro projektové specifikace komponent a systémů z hlediska zdraví a bezpečnosti obyvatelstva. Tyto analýzy jsou jedním z klíčových bodů, kterým je věnována pozornost Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB) v rámci licenčního řízení elektrárny a jsou vyžadovány Zákonem o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomovým zákonem) a o změně a doplnění některých zákonů jako součást příslušné bezpečnostní zprávy.

Analýzy mají prokazovat bezpečnost provozu v souladu s obecnými požadavky legislativy, v tomto případě zejména Vyhlášky o požadavcích na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti (zkráceně Vyhlášky o požadavcích na jaderná zařízení). Tyto obecné požadavky jsou konkretizovány v metodice, která obsahuje základní doporučení ke způsobu provedení analýz a k prezentaci obdržených výsledků. Analýzy vycházejí také z požadavků a doporučení SÚJB, jak vyplynuly z komunikace mezi ČEZ a SÚJB. Pokud mají na analýzy zpětnou vazbu Limity a podmínky bezpečného provozu, jsou příslušným způsobem taktéž zohledněny.

Pokud byly u některých událostí prováděny variantní výpočty, pro prezentaci v kapitolách bezpečnostní zprávy byly pro podrobnější komentář vybrány varianty s nejnepříznivějšími výsledky z hlediska kontrolovaného kritéria přijatelnosti. V závěrech nebo při zdůvodnění konzervativního výběru dat byly dle potřeby využity i výsledky variantních výpočtů.

Souběžně s analýzami domácích organizací byly provedeny také nezávislé analýzy dodavatele paliva TVEL. Nezávislost zde spočívala zejména v odlišnosti použitých výpočtových programů a v odlišnosti metodických postupů.

Níže jsou shrnuty klíčové aspekty provádění bezpečnostních rozborů, zahrnující požadavky legislativy, popis ochranných opatření a popis způsobu provádění bezpečnostních rozborů a prezentace výsledků, včetně analýz radiologických důsledků. Podrobněji jsou požadavky a principy zajištění bezpečnosti popsány v rámci kapitoly 1 (Úvod a obecný popis elektrárny).

Účel a cíle bezpečnostních rozborů

Jedním z klíčových požadavků atomového zákona je, že:

Každý, kdo provádí činnosti související s využíváním jaderné energie nebo činnosti vedoucí k ozáření, je povinen postupovat tak, aby byla přednostně zajišťována jaderná bezpečnost a radiační ochrana. *Jadernou bezpečností* se v tomto případě rozumí stav a schopnost jaderného zařízení a osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce nebo nedovolenému úniku radioaktivních látek nebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezovat následky nehod a *radiační ochranou* systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření osob a životního prostředí.

Základním cílem jaderné bezpečnosti a radiační ochrany je proto:

- chránit personál, obyvatelstvo a okolí jaderné elektrárny proti radiologickému ohrožení vytvořením a prováděním efektivní ochrany,
- zajistit za normálního provozu jaderné elektrárny, aby radiační ozáření personálu a obyvatelstva zůstávalo pod stanovenými limity a tak nízké, jak je rozumně dosažitelné,
- zajistit omezení radiačního ohrožení při nehodách.

S ohledem na nehody jsou pak cíle jaderné bezpečnosti a radiační ochrany následující:

- zajistit, aby nehodám bylo obecně zabráněno,
- zajistit, aby radiační následky všech v návrhu jaderné elektrárny uvažovaných události, dokonce i těch s velmi nízkou pravděpodobností, byly co nejmenší,
- zajistit jak prevencí, tak omezujícími opatřeními, snížení pravděpodobnosti výskytu nehod se závažnými důsledky na extrémně nízké hodnoty.

Bezpečnostní rozbory pak v souladu s požadavky atomového zákona poskytují průkaz, že řešení dané projektem (a konečným provedením) splňuje požadavky na jadernou bezpečnost a radiační ochranu s hodnocením možných dopadů analyzovaných událostí na pracovníky, obyvatele a životní prostředí, a to konkrétně při vzniku událostí abnormálního provozu nebo za havarijních podmínek.

Základní právní normou, které musí provoz jaderné elektrárny Dukovany vyhovovat, je tedy především atomový zákon a navazující Vyhlášky SÚJB: Vyhláška o požadavcích na jaderná zařízení, Vyhláška o zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany jaderných zařízení při jejich uvádění do provozu a při jich provozu (zkráceně Vyhláška o zajištění jaderné bezpečnosti), Vyhláška o radiační ochraně, a jiné). V tomto zákonu a v navazujících vyhláškách jsou definovány také nejdůležitější pojmy, související s hodnocením jaderné bezpečnosti, které jsou používány mimo jiné v tomto dílu 15 (bezpečnostní rozbory). Klíčovými pojmy jsou:

Normální provoz: Všechny stavy a operace plánovaného provozu jaderného zařízení při dodržení limitů a podmínek bezpečného provozu jaderného zařízení; jsou to zejména opětovné uvádění reaktoru do kritického stavu, ustálený provoz a odstavování reaktoru, zvyšování a snižování jeho výkonu, údržba, opravy a výměna paliva.

Abnormální provoz: Stavy, operace a události, odkloňující se od normálního provozu, které jsou neplánované, ale jejichž výskyt lze při provozu jaderného zařízení očekávat; jsou to např. rychlé odstavení, náhlý pokles zatížení, výpadek turbiny, ztráta napájení ze sítě, výpadek hlavního cirkulačního čerpadla apod.; tyto provozní stavy nesmějí vést k poškození palivového systému nebo k porušení palivových elementů a k porušení integrity primárního okruhu; po jejich ukončení, resp. odstranění příčin a následků je jaderné zařízení schopné normálního provozu.

***Havarijní podmínky*:** Všechny události způsobené selháním nebo porušením stavebních konstrukcí, technologických souborů a zařízení, vnějšími vlivy nebo chybami obsluhy, které vedou k porušení limitů a podmínek bezpečného provozu a které mohou způsobit poškození palivového systému nebo porušení palivových elementů (proutků)

Projektová nehoda: Nehoda, uvažovaná v projektovém řešení jaderného zařízení, která může mít za následek uvolnění radionuklidů, ionizujícího záření nebo ozáření osob.

***Maximální projektová nehoda*:** Projektová nehoda uvažovaná v návrhu jaderného zařízení s největšími radiačními důsledky.

Ve vztahu k hodnocení radiologických důsledků definuje atomový zákon kromě jiných následující klíčové pojmy:

Kritická skupina obyvatel: Je to modelová skupina fyzických osob, která představuje ty jednotlivce z obyvatelstva, kteří jsou z daného zdroje a danou cestou ozáření nejvíce ozařováni.

Optimalizační mez: Je to horní mez očekávaných dávek, kterými daný zdroj může působit na fyzické osoby, a která se stanovuje pro účely přípravy optimalizace radiační ochrany,

Směrná hodnota: Je to ukazatel nebo kritérium pro posouzení úrovně radiační ochrany, které se použije v případě, kdy nejsou dostupné podrobné údaje o vykonávané

činnosti vedoucí k ozáření nebo o prováděném zásahu, které by umožňovaly zhodnotit optimalizaci radiační ochrany pro jednotlivý případ,

Obecné bezpečnostní požadavky české legislativy

Základním ustanovením ***Vyhlášky SÚJB č. 195/1999 Sb. o požadavcích na jaderná zařízení***, které je specifické právě pro jaderná zařízení, a k jehož splnění směřuje celá řada dalších ustanovení, je následující:

Radiační ochrana v objektech a okolí jaderného zařízení:

Jaderné zařízení musí mít zajištěnu radiační ochranu v jeho objektech a v jeho okolí podle Vyhlášky o radiační ochraně. Výběr konkrétních požadavků této vyhlášky z hlediska hodnocení uvažovaných událostí je uveden níže.

Další vybrané požadavky *Vyhlášky o požadavcích na jaderná zařízení* se vztahují k jednotlivým systémům, které se nějakým způsobem podílejí na zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany:

Řešení aktivní zóny reaktoru

1) Aktivní zóna a příslušné chladicí, řídicí a ochranné systémy musí s rezervou zajistit, že stanovené projektové limity nebudou překročeny během libovolného provozního stavu.

2) Aktivní zóna reaktoru a navazující chladicí, řídicí a ochranné systémy musí zajistit, aby výsledný účinek okamžitých zpětných vazeb v aktivní zóně působil proti rychlému zvýšení reaktivity ve všech provozních stavech s kritickým reaktorem.

3) Mechanické části tvořící aktivní zónu nebo mechanické části umístěné v její blízkosti, včetně jejich upevnění, musí být řešeny tak, aby byly schopny odolat statickým a dynamickým účinkům při normálním a abnormálním provozu. Při havarijních podmínkách jejich případné porušení nesmí bránit bezpečnému odstavení reaktoru a chlazení aktivní zóny.

Řešení palivového systému

1) Palivový systém musí vydržet projektované ozáření v aktivní zóně, aniž dojde k jeho poškození v podmínkách normálního a abnormálního provozu i přes všechny uvažované procesy zhoršení materiálových vlastností a podmínek prostředí, které mohou nastat během provozu.

2) Uvažované procesy zhoršení materiálových vlastností a podmínek prostředí musí zahrnovat působení vnějšího tlaku chladiva, zvýšení vnitřního tlaku v palivovém elementu vlivem štěpných produktů, ozáření paliva a ostatních materiálů palivového souboru, změny v tlacích a teplotách vznikajících v důsledku výkonových změn, chemických vlivů, statického a dynamického namáhání, včetně namáhání způsobeného průtokem chladiva a vlivu mechanických vibrací a změn v přenosu tepla, které mohou nastat v důsledku deformací či chemických vlivů. Neurčitosti v datech, výpočtech a výrobní tolerance musí být respektovány s odpovídající rezervou.

3) Stanovené projektové limity paliva pro normální a abnormální provoz včetně přípustného úniku štěpných produktů nesmí být překročeny při normálním a abnormálním provozu, přičemž podmínky, které mohou v aktivní zóně nastat během abnormálního provozu, nesmí způsobit dodatečné významné zhoršení projektovaných charakteristik palivového systému. Únik štěpných produktů musí být udržen pod minimální hodnotou, která je prakticky dosažitelná.

4) V havarijních podmínkách projektové nehody musí palivové elementy i soubory zůstat na svém místě a nesmí podlehnout takovému poškození, které by bránilo zasunutí absorpčních orgánů nebo bránilo efektivnímu dochlazování aktivní zóny.

5) Stanovené projektové limity paliva pro havarijní podmínky projektové nehody nesmí být překročeny.

Řídicí systémy

1) Řídicí systémy na jaderných zařízeních musí být vybaveny přístroji tak, aby mohly sledovat, měřit, registrovat a ovládat provozní parametry důležité pro zajištění jaderné bezpečnosti během normálního a abnormálního provozu a v havarijních podmínkách. Sdělovače a ovladače musí být navrženy a rozmístěny tak, aby obsluha měla neustále dostatek informací o provozu jaderného zařízení a mohla v případě potřeby operativně zasáhnout. Řídicí systémy musí dávat požadované signály o odchylkách důležitých provozních parametrů a procesů od přípustných mezí.

2) Řídicí systémy musí průběžně v pravidelných intervalech, nebo podle potřeby, zaznamenávat hodnoty parametrů, které jsou podle havarijních rozborů důležité pro jadernou bezpečnost jaderného zařízení.

3) Při vzniku havarijních podmínek musí přístrojové vybavení poskytovat

a) informace o okamžitém stavu jaderného zařízení, na jejichž základě lze provést ochranná opatření,

b) základní informace o průběhu nehody a jejich záznam,

c) informace umožňující charakterizovat šíření radionuklidů a záření do okolí jaderného zařízení tak, aby bylo možné včas provést opatření na ochranu obyvatelstva.

Zásady řešení primárního okruhu

1) Primární okruh a jeho pomocné, kontrolní a ochranné systémy musí být řešeny tak, aby

a) byla s dostatečnou rezervou zajištěna za normálního a abnormálního provozu požadovaná pevnost, životnost a funkční spolehlivost jejich částí a zařízení,

b) nedocházelo k nepřípustným únikům chladiva,

c) byly dostatečně odolné proti vzniku a rozvoji poruch a byl zajištěn pomalý rozvoj případných poruch a jejich včasné zjištění,

d) byly vyloučeny poruchy velkého rozsahu,

e) zapůsobení zařízení pro snížení tlaku (pojistné ventily) nezpůsobilo nepřípustný únik radionuklidů z jaderného zařízení,

f) komponenty primárního okruhu obsahující chladivo jako tlaková nádoba, tlaková potrubí, trubky a jejich spojení, ventily, těsnění apod. včetně jejich upevnění odolaly statickému a dynamickému namáhání předpokládanému během všech provozních stavů a havarijních podmínek.

2) Návrh zařízení primárního okruhu musí obsahovat podmínky jeho zkoušek a údržby, podmínky normálního a abnormálního provozu, havarijní podmínky, rozbor a řešení všech vlivů poškozujících toto zařízení.

3) Návrh zařízení primárního okruhu musí zahrnovat opatření k udržení množství nebo tlaku chladiva tak, aby stanovené projektové limity nebyly překročeny v žádném ze stavů normálního a abnormálního provozu s uvážením objemových změn a úniků.

4) Systémy zajišťující udržení množství nebo tlaku chladiva musí mít přiměřenou kapacitu (průtok nebo objem), aby vyhověly požadavkům na udržení množství nebo tlaku chladiva a požadavku na systém doplňování chladiva, který musí být schopen kompenzovat úniky a objemové změny chladiva při normálním a abnormálním provozu, s uvážením odběru chladiva k čistění, aby stanovené projektové limity byly dodrženy.

Ochranné systémy

Jaderná zařízení, jejichž součástí je jaderný reaktor, musí být vybavena ochrannými systémy, které musí být

a) schopny rozeznávat abnormální podmínky a automaticky uvést do chodu příslušné systémy, včetně systému pro odstavení reaktoru tak, aby bylo zajištěno, že projektové limity nebudou překročeny,

b) schopny rozeznávat havarijní podmínky a uvést do chodu příslušné systémy určené ke zmírnění následků těchto podmínek,

c) nadřazeny činnosti řídicích systémů a obsluhy jaderného zařízení, ve všech stavech uvažovaných v návrhu jaderného zařízení, přičemž obsluha musí mít možnost uvést ochranný systém do činnosti ručně.

Vztah ochranných a řídicích systémů

1) Ochranné a řídicí systémy musí být odděleny tak, aby porucha řídicích systémů neovlivnila schopnost ochranných systémů vykonat požadovanou bezpečnostní funkci. Funkčně nutné a účelné spojení ochranných a řídicích systémů musí být maximálně omezeno tak, aby podstatně neovlivnilo jadernou bezpečnost.

2) Ochranný systém musí být řešen a nastaven tak, aby nemohlo dojít k překročení projektových limitů ani při chybné funkci řídicího systému. Ochranné zásahy jsou ve všech stavech uvažovaných v návrhu jaderného zařízení nadřazeny činnosti řídicího systému a obsluhy jaderného zařízení.

Odstavení reaktoru

1) Reaktor musí být vybaven systémy, které jsou schopny jej odstavit za normálního a abnormálního provozu a za havarijních podmínek. Musí jej udržet odstavený i za situace způsobující nejvyšší reaktivitu aktivní zóny. Účinnost, rychlost a rezerva na odstavení musí zaručovat, že stanovené projektové limity nebudou překročeny.

2) Zařízení pro odstavení reaktoru musí být tvořena nejméně dvěma různými nezávislými systémy založenými na různých principech a schopnými vykonávat svou funkci i za jednoduché poruchy.

3) Nejméně jeden ze systémů uvedených v odstavci 2 musí být sám o sobě schopen rychle uvést reaktor z normálního nebo abnormálního stavu a havarijních podmínek do podkritického stavu s přiměřenou rezervou za předpokladu jednoduché poruchy.

4) Nejméně jeden ze systémů uvedených v odstavci 2 musí být sám o sobě schopen uvést reaktor z normálního provozu do podkritického stavu a udržet reaktor v podkritickém stavu s přiměřenou rezervou za situace způsobující nejvyšší reaktivitu aktivní zóny.

5) Při prokazování požadovaných vlastností zařízení pro odstavení reaktoru musí být zvláštní pozornost věnována poruchám vzniklým kdekoliv v jaderném zařízení, které by mohly vyřadit z provozu část těchto zařízení.

6) Zařízení pro odstavení reaktoru musí být schopna zabránit samovolnému vzniku kritického stavu. Tento požadavek musí být splněn i za činností zvyšujících reaktivitu při odstaveném reaktoru (např. vyjmutí regulačního orgánu za účelem údržby nebo překládky paliva), a to i za předpokladu jednoduché poruchy těchto zařízení.

7) Systémy měření a testy musí zajišťovat, že zařízení pro odstavení reaktoru jsou v požadovaném stavu.

8) Část těchto zařízení určených pro odstavení reaktoru může být při jeho provozu použita pro řízení reaktivity nebo pro tvarování neutronového pole, pokud je neustále zachovávána rezerva na odstavení.

Systém havarijního chlazení

Systém havarijního chlazení musí zajistit

a) spolehlivé chlazení aktivní zóny za havarijních podmínek způsobených ztrátou chladiva, aby

1. teploty pokrytí palivových elementů nepřekročily hodnoty stanovené projektovými limity,

2. energetický příspěvek chemických reakcí (pokrytí, voda, uvolňování vodíku) nepřekročil přípustnou hodnotu,

3. nevznikly změny palivových elementů, palivových souborů a vnitřních částí reaktoru, které by mohly ovlivnit účinnost chlazení,

4. zbytkové teplo bylo odváděno dostatečně dlouhou dobu,

b) jeho dostatečné zálohování, vhodné propojení, možnost odpojení částí systému, detekce úniků a možnost jejich zachycení tak, aby systém pracoval spolehlivě i při jednoduché poruše.

Zálohování ochranných systémů

1) Ochranné systémy musí být řešeny s vysokou funkční spolehlivostí, násobností a nezávislostí jednotlivých kanálů tak, aby

a) žádná jednoduchá porucha nezpůsobila ztrátu ochranné funkce systému,

b) odpojení (vyřazení z provozu) libovolné komponenty nebo kanálu nemělo za následek snížení počtu nezávislých (redundantních) komponent nebo kanálů na jeden, pokud nelze v takovémto případě demonstrovat přijatelnou spolehlivost provozu ochranného systému.

2) Ochranné systémy musí umožňovat periodické zkoušky funkce jednotlivých nezávislých kanálů při provozu reaktoru a vyzkoušení společných obvodů nezávislých kanálů přinejmenším při odstaveném reaktoru. Tyto společné obvody musí být navrženy tak, že jejich možné poruchy vedou nejvýše k odstavení reaktoru, a nikoli ke ztrátě ochranné funkce.

Uzavírací prvky

1) Potrubí primárního okruhu, která procházejí stěnami hermetické obálky, nebo potrubí, která jsou přímo spojena s atmosférou uvnitř hermetické obálky, musí být vybavena spolehlivými uzávěry, z nichž každý musí mít nejméně dva uzavírací prvky zařazené v sérii, které se umísťují vně a uvnitř hermetické obálky a jsou nezávisle a spolehlivě ovladatelné. Vnější uzavírací prvky se umísťují co nejblíže hermetické obálky.

2) Ostatní potrubí procházející stěnami hermetické obálky, musí mít nejméně jeden vnější uzavírací prvek, který se umísťuje co nejblíže hermetické obálky.

3) Uzavírací prvky se musí navrhovat tak, aby se mohly pravidelně provádět zkoušky jejich těsnosti.

4) Funkce uzavíracího prvku musí být zajištěna i za předpokladu jednoduché poruchy mimo jeho mechanickou část.

Prováděcím předpisem k atomovému zákonu z hlediska *radiační ochrany* je ***Vyhláška SÚJB č. č. 307/2002 Sb o radiační ochraně,*** která specifikuje následující požadavky (jedná se o zjednodušený výtah, který přímo nebo nepřímo souvisí s kritérii přijatelnosti pro hodnocení radiologických důsledků analyzovaných událostí):

• *Směrné hodnoty ozáření*, které se považují za dostatečné k prokázání rozumně dosažitelné úrovně radiační ochrany při nakládání se zdroji ionizujícího záření, jsou 1 Sv pro roční kolektivní efektivní dávku, 1 mSv pro roční efektivní dávku u pracovníků kategorie A nebo B a 50 mikroSv pro roční efektivní dávku u ostatních osob. Rozumně dosažitelná úroveň radiační ochrany se považuje za dostatečně prokázanou, pokud ani za předvídatelných odchylek od běžného provozu nemůže být žádná z uvedených směrných hodnot překročena, a to ani u jedné osoby.

• *Limity ozáření* jako závazné kvantitativní ukazatele, jejichž překročení není podle příslušného paragrafu atomového zákona z hlediska radiační ochrany přípustné, jsou (kromě dalších) limity obecné, vztahující se na ozáření ze všech činností vedoucích k ozáření.

Obecné limity jsou:

a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 1 mSv za kalendářní rok nebo za podmínek stanovených v povolení k provozu pracoviště s významnými nebo velmi významnými zdroji

ionizujícího záření výjimečně hodnota 5 mSv za dobu pěti za sebou jdoucích kalendářních roků,

b) pro ekvivalentní dávku v oční čočce hodnota 15 mSv za kalendářní rok,

c) pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm2 kůže hodnota 50 mSv za kalendářní rok.

Obecné limity se pro obyvatelstvo v okolí pracoviště se zdroji ionizujícího záření vztahují na průměrné vypočtené ozáření v kritické skupině obyvatel, a to pro všechny cesty ozáření ze všech zdrojů ionizujícího záření a všechny činnosti vedoucí k ozáření, které přicházejí do úvahy. Nejsou-li přímé podklady pro výpočet, použijí se konzervativní odhady variací faktorů ovlivňujících šíření radionuklidů nebo ozáření jednotlivců v kritické skupině.

Z hlediska hodnocení bezpečnosti provozu (normálního a abnormálního provozu i havarijních podmínek) jsou specifikovány jako základní následující podmínky:

• Nutnou podmínkou pro to, aby provoz pracoviště se zdroji ionizujícího záření mohl být považován za bezpečný, je splnění optimalizačních mezí:

a) optimalizační meze pro provoz jaderně energetických zařízení, kterou je kolektivní efektivní
dávka 4 Sv za kalendářní rok na každý instalovaný GW výkonu, vztažená na ozáření všech radiačních pracovníků, pro které je podle programu monitorování prováděno osobní monitorování;

b) optimalizační meze pro celkové výpusti radioaktivních látek z pracoviště, kde se vykonávají radiační činnosti, kterou je průměrná efektivní dávka 250 mikroSv za kalendářní rok u příslušné kritické skupiny obyvatel, u jaderných energetických zařízení z toho 200 mikroSv pro výpusti do ovzduší a 50 mikroSv pro výpusti do vodotečí.

• Omezování ozáření osob a životního prostředí při radiačních haváriích se uskutečňuje ochrannými opatřeními, kterými jsou

a) neodkladná ochranná opatření zahrnující ukrytí, jódovou profylaxi a evakuaci,

b) následná ochranná opatření zahrnující přesídlení, regulaci požívání radionuklidy znečištěných potravin a vody a regulaci používání radionuklidy znečištěných krmiv.

• Ochranná opatření při radiačních haváriích se provádějí vždy, jsou-li zdůvodněna větším přínosem, než jsou náklady na opatření a škody jimi působené, a mají být optimalizována co do formy, rozsahu a trvání tak, aby přinesla co největší rozumně dosažitelný přínos.

• Jako základní vodítko pro rozhodování o zavedení ochranných opatření jsou uplatňovány směrné hodnoty, které odráží současný stav poznání a mezinárodně nabyté zkušenosti o tom, kdy lze od daného ochranného opatření očekávat větší přínos než škodu. Pro jednotlivé zdroje ionizujícího záření, při jejichž provozu je nebezpečí vzniku radiační havárie, se využitím optimalizace radiační ochrany, na základě údajů specifických pro daný jednotlivý případ, stanovují v havarijních plánech specifické ukazatele pro rozhodování o zavedení ochranných opatření (dále jen "havarijní zásahové úrovně").

• Neodkladné ochranné opatření se vždy považuje za odůvodněné, jestliže by předpokládané ozáření jakéhokoliv jedince mohlo vést k bezprostřednímu poškození zdraví, a proto se neodkladná ochranná opatření zavádějí vždy, jestliže se očekává, že efektivní nebo ekvivalentní dávky by mohly v průběhu méně než dvou dnů u kterékoliv osoby překročit úrovně:

- 1 Gy	celé tělo,	- 6 Gy	plíce,
- 3 Gy	kůže,	- 5 Gy	štítná žláza,
- 2 Gy	oční čočka,	- 1 Gy	gonády.

• Pokud by neodkladným ochranným opatřením po dobu nejdéle 7 dnů mohlo být odvráceno nebo sníženo u kritické skupiny obyvatel ozáření v rozsahu převyšujícím dolní meze rozpětí směrných hodnot zásahových úrovní uvedených dále, potom se realizace

ochranných opatření zvažuje s ohledem na rozsah, proveditelnost a nákladnost opatření a jejich případné důsledky; při překročení horní meze se ochranná opatření zpravidla zavádějí vždy.

Směrné hodnoty zásahových úrovní pro neodkladná opatření jsou následující:

Opatření	Rozpětí efektivních dávek	Rozpětí ekvivalentních dávek v jednotlivých orgánech a tkáních
Ukrytí a jódová profylaxe	5 mSv až 50 mSv	50 mSv až 500 mSv
Evakuace obyvatelstva	50 mSv až 500 mSv	500 mSv až 5000 mSv

K provedení a hodnocení rozsahu neodkladných ochranných opatření jsou zpřesňujícím vodítkem následující směrné hodnoty:

a) pro ukrytí odvrácená efektivní dávka 10 mSv pro období ukrytí ne delší než 2 dny,

b) pro jódovou profylaxi odvrácený úvazek ekvivalentní dávky ve štítné žláze způsobený radioizotopy jódu 100 mSv,

c) pro evakuaci odvrácená efektivní dávka 100 mSv pro období evakuace ne delší než jeden týden.

Pro následná ochranná opatření jsou zásahové úrovně stanoveny tabulkou. S těmito zásahovými úrovněmi se porovnávají předpokládané efektivní, popř. ekvivalentní dávky, které by byly obdrženy při neuskutečnění odpovídajících ochranných opatření, a to pro přesídlení v důsledku všech způsobů zevního ozáření a příjmu radionuklidů vdechováním i požíváním během prvního roku po radiační havárii a pro regulaci požívání znečištěných potravin a vody pouze v důsledku příjmu radionuklidů požitím během prvního roku po radiační havárii.

Směrné hodnoty zásahových úrovní pro následná opatření jsou následující:

Opatření	Rozpětí efektivních dávek	Rozpětí ekvivalentních dávek v jednotlivých orgánech a tkáních
Regulace požívání radionuklidy znečištěných potravin, vody a krmiv	5 mSv až 50 mSv	50 mSv až 500 mSv
Přesídlení obyvatelstva	50 mSv až 500 mSv	nestanovuje se

K rozhodnutí o přesídlení jsou zpřesňujícím vodítkem následující směrné hodnoty zásahových úrovní:

a) pro zahájení přechodného přesídlení odvrácená efektivní dávka 30 mSv pro období jeden měsíc,

b) pro ukončení přechodného přesídlení očekávaná efektivní dávka 10 mSv pro období jeden měsíc; Jestliže se v průběhu jednoho až dvou let ukáže, že celkové efektivní dávky za jeden měsíc neklesají pod zásahovou úroveň pro ukončení přechodného přesídlení, musí být zvažováno trvalé přesídlení,

c) pro trvalé přesídlení očekávaná celoživotní efektivní dávka 1 Sv.

Vyhláška o radiační ochraně sice přímo nestanovuje, jaké hodnoty jsou přípustné pro případ havarijních podmínek, umožňuje však určit takové dávky, které nevedou k nutnosti zavádět **neodkladná** ani **následná** ochranná opatření. Pro účely hodnocení radiologických důsledků analyzovaných událostí pro JE Dukovany je aplikován požadavek, aby za 50 let od vzniku události nebyly, počínaje hranicí ochranného pásma, ani za nejnepříznivějších okolností překročeny hodnoty efektivní dávky

• 12,5 mSv pro události abnormálního provozu,

• 50 mSv pro havarijní podmínky.

Fyzikální veličiny, které se vyskytují výše v souvislosti s radiační ochranou, mají následující význam:

1 Gy – odpovídá energii záření jednoho joulu absorbované jedním kilogramem látky

1 Sv – odpovídá dávce jakéhokoliv záření, které má stejné biologické účinky jako dávka 1 Gy rentgenového nebo gama záření

Ochrana do hloubky a vazba na kritéria přijatelnosti analyzovaných událostí

V souladu s výše citovanými obecnými požadavky Vyhlášky o požadavcích na jaderná zařízení, je bezpečnost JE Dukovany založena na konceptu ochrany do hloubky, což představuje postupné fyzické bariéry (palivová matrice, povlak, tlaková hranice primárního okruhu, ochranná obálka) a jiná opatření ke kontrole radioaktivních materiálů, a taktéž vícenásobné úrovně ochrany proti porušení těchto bariér a proti nepatřičnému radiologickému dopadu na jadernou elektrárnu samotnou i na její okolí. Prokázání, že neexistuje nepřiměřené riziko vyvolané provozem jaderné elektrárny Dukovany je předmětem jejího bezpečnostního hodnocení (bezpečnostní zprávy).

Ochrana do hloubky patří mezi základní principy zajištění jaderné bezpečnosti a jejími základními úkoly jsou:

• prevence nehod,

• zmírnění následků nehod (havarijních podmínek).

Princip ochrany do hloubky se uplatňuje v celkové strategii projektu bezpečnostních opatření a zařízení jaderné elektrárny Dukovany. Výrazně přispívá k tomu, že žádná projektová porucha nepovede k ohrožení personálu, obyvatelstva a životního prostředí. Plnění úkolů ochrany do hloubky je v projektu jaderné elektrárny Dukovany dosahováno prostřednictvím:

• víceúrovňové ochrany do hloubky,

• vícenásobných ochranných bariér proti úniku RA látek do okolí.

Existuje následujících 5 základních úrovní *ochrany do hloubky*:

První úroveň je kombinací konzervativního přístupu k projektu, zajištění jakosti, kontrolních činností a celkové kultury bezpečnosti.

Druhá úroveň je detekování a korigování odchylek od normálního provozu za účelem předcházení tomu, aby očekávané provozní události nevedly ke vzniku havarijních podmínek. Tato úroveň ochrany zajišťuje trvalou integritu prvních tří bariér a dohromady ji tvoří systémy normálního provozu a bariéry.

Třetí úroveň je tvořena bezpečnostními systémy, které mají zabránit rozvoji poruch zařízení a chyb personálu do projektových nehod a jejich rozvoji do nadprojektových havárií a dále zajistit zadržení radioaktivních látek v hermetickém prostoru.

Čtvrtá úroveň je využití existujících prostředků pro řízení vývoje těžkých (nadprojektových) havárií.

Pátá úroveň je tvořena opatřeními vnitřních a vnějších havarijních plánů, které mají za cíl snížit účinky úniku radioaktivních látek do vnějšího okolí.

Ochranné bariéry jsou tvořeny:

• chemickou a fyzikální strukturou jaderného paliva: první ochranná bariéra,

• povlakem palivového elementu (proutku): druhá ochranná bariéra,

• hranicí tlakového okruhu chladiva reaktoru: třetí ochranná bariéra,

• hranicí hermetického prostoru: čtvrtá ochranná bariéra.

Plnění bezpečnostních funkcí je dalším principem zajištění jaderné bezpečnosti JE Dukovany. Tyto funkce jsou plněny použitím systémů, zařízení a stavebních konstrukcí určených:

- pro normální provoz,
- k zabránění očekávaných provozních událostí (režimů), které by mohly vést k havarijním podmínkám,
- ke zmírnění (omezení) následků havarijních podmínek.

Klíčové bezpečnostní funkce jsou určeny k udržení schopnosti:

- řízení reaktivity,
- chlazení paliva,
- kontroly radioaktivního materiálu,
- monitorování stavu elektrárny,
- zmírnění radiačních důsledků.

Řízení reaktivity znamená obecně všechna opatření přijatá proto, aby nedošlo ke vzniku neúmyslného kritického stavu, ke ztrátě schopnosti řídit reaktivitu, k výkonovým exkurzím, nebo ke ztrátě rezervy na odstavení reaktoru. Ztráta schopnosti řídit reaktivitu by mohla vést k nadměrné produkci tepla v jaderném palivu a k potenciálnímu porušení bariér proti úniku aktivity.

Chlazení paliva (které představuje hlavní zdroj aktivity) vyžaduje, aby za všech podmínek byl zajištěn dostatečný odvod tepla z paliva, aby se tak předešlo jeho nadměrnému ohřevu a tím i k rozsáhlému uvolnění aktivity. Jsou uvážena všechna místa potenciálního výskytu paliva (aktivní zóna, bazén vyhořelého paliva, atd.) a všechny provozní podmínky (normální výkonový provoz, režimy s odstaveným reaktorem, nehody). Zachování této bezpečnostní funkce vyžaduje zachování integrity chladicího systému, zachování cirkulace chladiva a kontrolu jeho množství a použitelnost koncového jímače tepla.

Kontrola radioaktivního materiálu jak během normálního provozu, tak i v havarijních podmínkách vyžaduje, aby příslušné bariéry (palivová matrice, povlak, tlaková hranice chladiva reaktoru, ochranná obálka) zůstaly neporušeny, nebo aby jejich degradace byla minimální. Pro některé nehody, např. pro LOCA (ztráta chladiva primárního okruhu), existuje potenciální možnost porušení několika bariér. Bariéry mohou být nepříznivě ovlivněny např. ztrátou mechanických vlastností v důsledku nadměrného ohřevu, přetlakováním primárního okruhu nebo ochranné obálky, nebo porušením konstrukce v důsledku mechanického nárazu nebo tryskových (hydrodynamických) sil.

Monitorování stavu jaderné elektrárny Dukovany je jinou důležitou bezpečnostní funkcí prováděnou obsluhou prostředky přístrojového vybavení elektrárny. Úlohou obsluhy je vyhodnocovat zobrazované podstatné bezpečnostní parametry, potvrzovat, že dochází ke správné automatické činnosti systému a zasahovat v případě potřeby.

Zmírnění radiačních důsledků prostředky radiační ochrany a havarijního plánu je vyžadováno v případě, kdy jsou během nadprojektové havárie všechny bariéry proti úniku aktivity významně porušeny. Opatření k obnově a zachování bezpečnostních funkcí zahrnují za takových podmínek použití:

- alternativních nebo diverzních systémů, předpisů a metod, včetně využití zařízení nepatřících k bezpečnostním,
- externích zařízení pro dočasné zastoupení standardních komponent,
- opatření na ochranu obyvatelstva a životního prostředí (omezená konzumace potravin, ukrytí obyvatel, evakuace).

Uvedená závazná ustanovení (Vyhláška o požadavcích na jaderná zařízení), jsou výchozími bezpečnostními požadavky, ke kterým jsou stanovena specifická kritéria přijatelnosti, vesměs ve formě limitujících hodnot určitých fyzikálních či technologických

parametrů, případně se tyto obecné požadavky uvádějí i přímo jako kritéria přijatelnosti (resp. obecná kritéria přijatelnosti). Specifická kritéria přijatelnosti jsou pak zpravidla svázána s některou z uvedených ochranných bariér, takže splnění příslušného kritéria přijatelnosti znamená zachování odpovídající ochranné bariéry. Konkrétní kritéria přijatelnosti aplikovaná pro jadernou elektrárnu Dukovany jsou formulována v závislosti na pravděpodobnosti výskytu dané události a závažnosti jejích důsledků (abnormální provoz, havarijní podmínky) a jsou uvedena v kap. 15.0.

Způsob provádění bezpečnostních rozborů

Předcházející části už naznačují, jakým směrem jsou bezpečnostní analýzy vedeny: Z celého spektra možných poruch zařízení jsou vybrány ty poruchy, které mohou mít nepříznivý dopad na některou z ochranných bariér, což by mohlo ve svých důsledcích vést k nedovolenému uvolnění radioaktivních látek do okolního prostředí. Analýza této poruchy pak spočívá v identifikaci možných příčin jejího vzniku, v identifikaci opatření, která takové poruše mají předcházet, v identifikaci zařízení, která v případě vzniku situace mají zastavit její rozvoj a zmírňovat důsledky a konečně v samotném modelování průběhu vzniklé události včetně vyhodnocení jejích možných důsledků pro ochranné bariéry (jejich porušení) s případnou možností následného uvolnění radioaktivních látek do okolního prostředí. Jaderný blok je samozřejmě navrhován a konstruován tak, aby k únikům aktivity nad povolené hodnoty nemohlo dojít ani v případě uvažovaných havarijních podmínek, avšak předpoklady analýz jsou voleny tak konzervativně, aby i taková možnost mohla být modelována a vyhodnocena. Přijatelnost analyzované události je pak hodnocena pomocí kritérií přijatelnosti, uvedených níže, která dovolují posoudit zachování integrity příslušné ochranné bariéry, nebo kontrolou splnění požadavků Vyhlášky o radiační ochraně pro případné uvolnění radioaktivních látek nad meze stanovené pro normální provoz.

Modelování analyzovaných událostí se provádí zpravidla pomocí složitých výpočtových programů, popisujících blok nebo jiné větší části jako celek, případně popisujících detailně jenom některé dílčí komponenty (např. aktivní zónu, nebo palivový proutek, apod.). Všechny takové programy musí projít příslušnou procedurou hodnocení, organizovanou SÚJB, která musí vymezit rozsah jejich použitelnosti. Součástí této procedury je expertní posuzování dokumentace, obsahující jednak detailní popis použitých fyzikálních modelů a matematických postupů, jednak výsledky ověřovacích výpočtů s využitím experimentálních údajů nebo výsledků jiných ověřených programů.

Pro modelování příslušné situace se používají zpravidla výchozí data (počáteční a okrajové podmínky) taková, která poskytnou nejnepříznivější výsledky z hlediska sledovaného kritéria přijatelnosti. Se stejným cílem jsou voleny i další předpoklady, uplatňované při sestavování scénáře (např. předpoklady o poruchách či selhání některých důležitých zřízení). Výsledkem analýzy pak je ověření, zda nedošlo k porušení některé z ochranných bariér proti úniku aktivity do okolního prostředí, nebo zda nedošlo k úniku aktivity do okolního prostředí v rozsahu, který nesplňuje požadavky Vyhlášky o radiační ochraně

Výsledky analýz, prezentované v bezpečnostní zprávě, musí obsahovat nejenom časové průběhy těch parametrů, které jsou kontrolovány pomocí kritérií přijatelnosti, ale i těch parametrů, které umožňují posoudit průběh procesu jako celku. V kapitolách 15.1 až 15.9 bude prezentováno celé spektrum uvažovaných událostí, avšak výsledky budou shrnuty pouze ve stručné formě s tím, že podrobnější výsledky jsou obsaženy ve vlastní bezpečnostní zprávě pro EDU a v ní odkazované další dokumentaci.

Jaderný blok je navrhován a konstruován tak, aby k únikům aktivity nad povolené hodnoty nemohlo dojít ani v případě uvažovaných havarijních podmínek. Avšak volbou předpokladů analýz lze získat takové konzervativní výsledky, které umožní vyhodnotit možné radiologické důsledky i těch nejméně pravděpodobných událostí a s nimi spojených úniků radioaktivních látek do okolního prostředí. Vyhodnocení (analýzy) radiologických důsledků jsou nedílnou součásti analýzy každé uvažované události.

Z hlediska radiologických důsledků lze analyzované události rozdělit principiálně do následujících skupin (kategorizaci událostí viz kap. 15.0):

1. Události, kdy je zachována integrita paliva i integrita primárního okruhu, k úniku radioaktivního média dochází přepouštěcími zařízeními do atmosféry (přepouštěcí stanice, pojistné ventily). Jedná se o události Kategorie II.

2. Události, kdy je zachována integrita paliva i integrita primárního okruhu, je však porušena integrita sekundárního okruhu mimo ochrannou obálku, médium sekundárního okruhu vytéká přímo do vnějšího prostředí. Jedná se v závislosti na velikosti úniku o události Kategorie III a IV.

3. Události, kdy je porušena integrita paliva, ale je zachována integrita primárního okruhu, k úniku radioaktivního média dochází přepouštěcími zařízeními do atmosféry (přepouštěcí stanice, pojistné ventily). Jedná se o události Kategorie IV.

4. Události, kdy je porušena integrita paliva i integrita primárního okruhu, ale je zachována integrita ochranné obálky. Jedná se o události Kategorie IV.

5. Události, kdy je zachována integrita paliva i integrita ochranné obálky, ale je porušena integrita primárního okruhu a k úniku radioaktivního média dochází přepouštěcími zařízeními do atmosféry, nebo netěsností ochranné obálky, nebo přímo do okolního prostředí, jedná-li se o potrubí procházející ochrannou obálkou a napojená na primární okruh. Jedná se v závislosti na velikosti úniku o události Kategorie II, III a IV.

6. Události, které jsou spojeny s úniky radioaktivního média mimo primární nebo sekundární okruh elektrárny. Jedná se o události Kategorie III nebo IV.

U skupiny 1 je třeba ještě uvést, že sem patří i takové události, u kterých v průběhu přechodového procesu nedochází k přepouštění média sekundárního okruhu do okolního prostředí. Radiologické důsledky takových událostí pak nejsou nepříznivější, než je normální provoz elektrárny.

Skupina 6 souvisí s poruchami integrity v systémech plynných a kapalných radioaktivních odpadů nebo nádrží kapalných médií a s úniky radioaktivních látek uvolněných v důsledku nehody při manipulaci s palivem mimo oblast reaktoru.

Výsledky vyhodnocení nebo analýzy radiologických důsledků jsou uvedeny u každé skupiny analyzovaných událostí 15.1 až 15.9. Přitom v každé skupině se mohou vyskytnout události, které splňují přísnější kritérium, než je pro danou událost přijato. Konkrétní znění kritérií přijatelnosti pro hodnocení radiologických důsledků analyzovaných událostí je v kap. 15.0.

Hodnocení skutečných událostí podle stupnice INES

Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí (INES) je prostředkem, jak veřejnost bezprostředně informovat o bezpečnostním významu události v jaderných zařízeních. Stupnice může tím, že o události poskytne náležité informace, usnadnit vzájemné porozumění mezi jaderným společenstvím, sdělovacími prostředky a veřejností.

Stupnice je použitelná pro události ve všech jaderných zařízeních civilního jaderného průmyslu a pro události během transportu radioaktivních materiálů do těchto zařízení a z nich. Užívání stupnice monitoruje Mezinárodní agentura pro atomovou energii (MAAE).

Ačkoliv má být stupnice použita po dané události okamžitě, budou se vyskytovat případy, kdy pochopení a řádné přiřazení stupně události bude vyžadovat jistý čas. Za těchto okolností se přiřadí stupeň s podmínkou, že později bude přiřazení potvrzeno. Je také možné, že v důsledku dalších analýz a informací bude nutné přiřadit události jiný stupeň, avšak toto přiřazení by se mělo provádět jen v nejnutnějších případech.

Stupnice hodnotí události v sedmi stupních (podrobnější informace jsou na webových stránkách SÚJB). Nižší stupně (1-3) označují nehody a vyšší stupně (4-7) havárie. Události bez bezpečnostního významu jsou hodnoceny stupněm 0 („pod stupnicí“) a označují se jako odchylky. Události, jež vůbec nesouvisejí s bezpečností, se označují jako „mimo stupnici“.

Jak bylo zmíněno výše, jsou jaderná zařízení projektována s aplikací systému hloubkové ochrany, tzn., že postupným zapojováním bezpečnostních opatření se zabrání

velkému vlivu události na okolí či samotné zařízení a rozsah zapojených bezpečnostních systémů bude obecně odpovídat potenciálnímu dopadu události na zařízení a jeho okolí. Teprve narušení všech bezpečnostních opatření může vést ke značným následkům na okolí a na samotné zařízení.

Ve vztahu k analýzám radiologických důsledků analyzovaných událostí lze uvést, že aplikovaná kritéria přijatelnosti odpovídají přibližně stupňům 4 a 5 stupnice INES.

15.1 Soubor komplexních vstupních dat použitých pro bezpečnostní rozbory

Aktuální verze Předprovozní bezpečnostní zprávy JE Dukovany, ze které vychází tato Veřejná bezpečnostní zpráva JE Dukovany, byla zpracována pro modernizované palivové cykly se zaváděnými palivovými soubory, jejichž charakteristickým rysem jsou palivové proutky s tabletkou bez centrálního otvoru a s jejím větším průměrem, při současném snížení tloušťky pokrytí paliva.

Po formální stránce jsou analýzy členěny v souladu s osnovou schválenou SÚJB, která v principy vychází z amerického Regulatory Guide 1.70 Standard Format and Content of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants (LWR edition).

Uplatněny jsou také výsledky organizací dodavatele paliva TVEL buď přímo jako hlavní hodnocení události, nebo jako podpora výsledků domácích organizací výsledky těchto nezávislých analýz.

15.1.1 Výchozí údaje pro bezpečnostní rozbory

Výchozí údaje zahrnují v širším smyslu kromě vlastních dat také kritéria přijatelnosti pro hodnocení analyzovaných iniciačních událostí a nastavení ochranných funkcí těch systémů, jejichž činností má být splnění těchto kritérií dosaženo. Tyto údaje souvisí pak s konkrétními analyzovanými událostmi, popsanými níže.

Vyhláška o požadavcích na jaderná zařízení definuje jako základní provozní režimy jaderného bloku normální provoz, abnormální provoz a havarijní podmínky. Normální provoz je výchozím stavem pro jakoukoliv událost abnormálního provozu nebo havarijních podmínek. Možné události abnormálního provozu a havarijních podmínek jsou pro účely této bezpečnostní zprávy rozděleny do následujících skupin:

15. 1: Zvýšení odvodu tepla sekundárním okruhem

15. 2: Snížení odvodu tepla sekundárním okruhem

15. 3: Snížení průtoku chladiva primárním okruhem

15. 4: Anomálie reaktivity a distribuce výkonu

15. 5: Zvýšení množství chladiva reaktoru

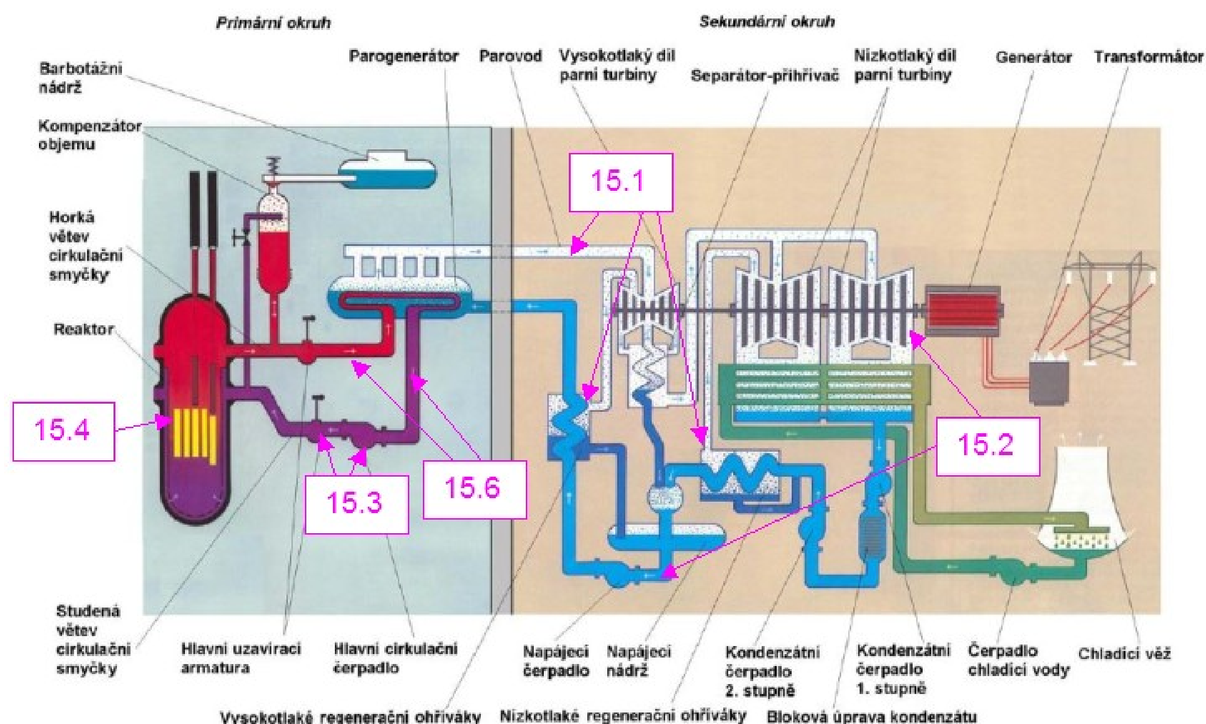
15. 6: Snížení množství chladiva reaktoru

15. 7: Úniky radioaktivních látek ze subsystémů nebo komponent

15. 8: Očekávané přechodové procesy bez rychlého odstavení reaktoru (ATWS)

15. 9: Speciální rozbory

. Pro přibližnou orientaci jsou na obr. 15.1 znázorněny oblasti, kterých se analýzy skupin 1 až 6 týkají. Autor textu Ing. Tinka změnil formát číslování obrázků a tabulek v dílu 15 – doporučuji to zde tak ponechat – je tu hodně zejména obrázků



Obr. 15.1: Schematické znázornění oblastí bloku, ke kterým se vztahují jednotlivé skupiny událostí 1 až 6

Skupiny 1 až 6 odpovídají charakteru působení na reaktorové zařízení, skupina 7 se týká provozů, ve kterých se nachází radioaktivní média, skupina 8 zahrnuje v principu analýzy událostí ze skupin 1 až 6 za specifických předpokladů selhání ochrany reaktoru a skupina 9 zahrnuje různorodé analýzy, které nespadají do žádné z výše uvedených skupin

Vyhláška o požadavcích na jaderná zařízení rozlišuje z hlediska možných stavů elektrárny normální provoz, abnormální provoz a havarijní podmínky, u organizací dodavatele paliva se v souladu s ruskou legislativou vyskytují termíny předhavarijní situace, případně narušení normálního provozu a projektová nehoda. Další zavedené termíny a používané i v domácí praxi pocházejí z US ANSI dokumentace nebo z dokumentace IAEA. Přibližný vztah mezi kategoriemi stavů podle uvedené dokumentace včetně rámcového pravděpodobnostního výskytu událostí daných kategorií znázorňuje tab. 15.1.

Tabulka 15.1: Kategorizace iniciačních událostí dle různých dokumentů

Pravděpodobnost vzniku události [1/reaktor.rok]	US ANSI/ANS 51.1	Vyhláška č.195/1999 Sb	НП-001-97 НП-082-07	IAEA SSG-2
Normální provoz	Kategorie I (normální provoz)	Normální provoz	Normální provoz	-
$1 \div 10^{-2}$	Kategorie II (mírná četnost výskytu)	Abnormální provoz	Narušení normálního provozu	Očekávané přechodové procesy
$10^{-4} \div 10^{-2}$	Kategorie III (řídká četnost výskytu)	Havarijní podmínky	Projektové nehody	Projektové nehody
	Kategorie IV (limitující nehody)			

Pravděpodobnost vzniku události [1/reaktor.rok]	**US ANSI/ANS 51.1**	**Vyhláška č.195/1999 Sb**	**НП-001-97 НП-082-07**	**IAEA SSG-2**
$10^{-6} \div 10^{-4}$			**Nadprojektové nehody (havárie)**	Nadprojektové nehody(havárie)
$< 10^{-6}$				**Těžké nehody (havárie)**

US ANSI/ANS 51.1: Nuclear Safety Criteria for the Design of Stationary Pressurized Water Reactor Plants
Vyhláška č.195/1999 Sb: Vyhláška o požadavcích na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti
НП-001-97 (НП-082-07): Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций)
IAEA SSG-2: Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants

Klasifikace stavů elektrárny

Klasifikace podle ANSI/ANS 51.1 je aplikovatelná i v našich podmínkách a kromě definice čtyř kategorií událostí specifikuje také obecná kritéria přijatelnosti, založená na očekávané četnosti výskytu těchto událostí a na potenciálních důsledcích pro obyvatelstvo, která jsou jakýmsi spojovacím článkem mezi legislativními požadavky a specifickými kritérii přijatelnosti pro každou analyzovanou událost.

Těmito čtyřmi kategoriemi jsou:

Kategorie I: Normální provoz a provozní přechodové procesy
Kategorie II: Události s mírnou četností výskytu
Kategorie III: Události (nehody) s řídkou četností výskytu
Kategorie IV: Limitující nehody

V souladu s tab. 15.1 tak je vztah mezi stavy dle ANSI/ANS 51.1 a Vyhláškou č.195/1999 Sb:

Normální provoz: Kategorie I
Abnormální provoz: Kategorie II
Havarijní podmínky: Kategorie III a IV

Poznámka: V našich právních normách není (zatím) zavedeno další dělení havarijních podmínek např. na projektové, nadprojektové a těžké nehody (havárie), je však s nimi uvažováno v rámci opatření vnitřního a vnějšího havarijního plánu k likvidaci radiační nehody nebo radiační havárie.

Klasifikace podle ANSI/ANS 51.1 umožní přehledněji ilustrovat skupiny událostí podle jejich závažnosti, od normálního provozu, až po havarijní podmínky s nejzávažnějšími důsledky, než plyne z rozdělení událostí do skupin, jak je uvedeno výše. Jednotlivé kategorie jsou podrobněji popsány (včetně obecných kritérií přijatelnosti a seznamu odpovídajících událostí) následujícím způsobem:

Kategorie I: Normální provoz a provozní přechodové procesy (= normální provoz)

Události Kategorie I jsou ty, které jsou očekávány často nebo pravidelně v průběhu provozu na výkonu, během výměny paliva, během údržby a v průběhu plánovaných změn výkonu elektrárny. Jako takové jsou události Kategorie I zvládnuty s rezervou mezi jakýmkoliv parametrem elektrárny a hodnotou tohoto parametru, která by vyžadovala ochranný zásah. Protože události Kategorie I nastávají často nebo pravidelně, musí být uvažovány z hlediska ovlivňování důsledků abnormálního provozu a havarijních podmínek (Kategorie II, III a IV). S ohledem na to je analýza každé popisované události

založena obecně na konzervativním souboru počátečních podmínek, odpovídajícímu nepříznivým podmínkám, které se mohou vyskytovat v průběhu událostí Kategorie I.

Typický seznam událostí Kategorie I je následující:

1. Provoz v ustáleném stavu a odstavení

2. Provoz s přípustnými odchylkami, které zahrnují např. provoz s komponentami nebo systémy mimo provoz, radioaktivitu v chladivu reaktoru (štěpné produkty, korozní produkty, tritium), provoz s netěsnostmi v parogenerátoru až do maxima, dovoleného příslušnými provozními předpisy elektrárny, testování dovolené příslušnými provozními předpisy elektrárny.

3. Provozní přechodové procesy zahrnují ohřev a dochlazování elektrárny, stupňovité změny zátěže (zadaným trendem), lineární změny zátěže (trendem), snižování zátěže až do úplného projektového odlehčení včetně přechodového procesu s tím spojeného.

Kategorie II: Události s mírnou četností výskytu (= abnormální provoz)

Tyto události vedou v nejhorším případě k rychlému odstavení reaktoru s tím, že elektrárna je schopna návratu do normálního provozu. Specifická kritéria pro události Kategorie II splňují následující obecná kritéria přijatelnosti:

1. Reakce na tyto události musí být zvládnuta nanejvýš rychlým odstavením reaktoru.

2. Elektrárna by měla být schopna návratu do provozu po provedení nápravných činností.

3. Vypouštění radioaktivních materiálů ve vytékajícím médiu do oblastí mimo území elektrárny musí být v souladu s vyhláškou č. 184/1997 Sb.

4. Událost s mírnou četností výskytu nesmí generovat vážnější nehodu bez jiných nehod, vyskytnuvších se nezávisle.

5. Nemělo by dojít k žádné následné ztrátě funkce kterékoliv bariéry proti úniku radioaktivních produktů (žádné poškození paliva nebo přetlakování systému).

Události zahrnuté v této kategorii jsou následující:

- Chybné funkce systému napájecí vody, které vedou ke snížení teploty napájecí vody
- Chybné funkce systému napájecí vody, které vedou ke zvětšení průtoku napájecí vody
- Chybná funkce regulátoru tlaku páry nebo porucha vedoucí ke zvětšení průtoku páry
- Neúmyslné otevření přepouštěcího nebo pojistného ventilu parogenerátoru
- Chybná funkce regulátoru tlaku páry nebo porucha vedoucí ke zmenšení průtoku páry
- Ztráta vnějšího elektrického zatížení
- Výpadek turbíny (uzavření rychlozávěrných ventilů)
- Neúmyslné uzavření oddělovacích armatur na hlavních parovodech
- Ztráta vakua v kondenzátoru
- Ztráta pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení
- Ztráta normálního napájení parogenerátoru vodou
- Výpadek jednoho nebo více hlavních cirkulačních čerpadel (jednotlivě)
- Neřízené vysouvání skupiny regulačních kazet v podkritickém stavu nebo na malých výkonových hladinách při spouštění
- Neřízené vysouvání skupiny regulačních kazet na výkonu
- Chybná činnost řídicího orgánu (pád regulační kazety, pád regulační skupiny, nebo staticky chybná pozice regulační kazety)
- Spuštění/připojení nepracující smyčky primárního okruhu při nesprávné teplotě
- Chybná funkce systému normálního doplňování a bórové regulace, která vede ke snížení koncentrace bóru v chladivu reaktoru

- Neúmyslné uvedení do činnosti systému havarijního chlazení aktivní zóny při provozu na výkonu
- Chybná funkce systému normálního doplňování a bórové regulace, která zvětšuje množství chladiva v primárním okruhu
- Neúmyslné otevření pojistného nebo přepouštěcího (odlehčovacího) ventilu kompenzátoru objemu
- Prasknutí trubek instrumentace nebo jiných potrubí, která jsou připojena k tlakové hranici chladiva reaktoru a která procházejí stěnami ochranné obálky (menší průměry)

Výsledky analýz událostí této skupiny zahrnují limitující přechodové procesy z hlediska převýšení tlaku v primárním a/nebo sekundárním okruhu a z hlediska zachování integrity pokrytí paliva prostřednictvím udržení minimálního kritického tepelného poměru (DNBR) nad limitní hodnotou pro uvažovanou korelaci.

Kategorie III: Nehody s řídkou četností výskytu (= havarijní podmínky)

Podle definice jsou události Kategorie III nehody, které se mohou vyskytnout velmi zřídka během životnosti elektrárny. Specifická kritéria pro události Kategorie III ověřují splnění následujících obecných kritérií přijatelnosti:

1. Výskyt těchto událostí (nehod) nesmí způsobit více než malý podíl poškozených palivových proutků.
2. Vypouštění radioaktivních materiálů musí být v souladu s Vyhláškou o radiační ochraně
3. Radioaktivní úniky nesmí být takové, aby přerušily nebo omezily veřejné používání těch oblastí, které se nacházejí v okolí JE ve smyslu požadavků Vyhlášky o radiační ochraně.
4. Nehoda s řídkým výskytem nesmí generovat nehodu Kategorie IV.
5. Nesmí dojít k následné ztrátě funkce bariér primárního okruhu nebo ochranné obálky reaktoru.

Nehody zahrnuté v této kategorii jsou následující:

- Spektrum porušení parovodů uvnitř a vně ochranné obálky (menší)
- Výpadek jednoho nebo více hlavních cirkulačních čerpadel (postupný)
- Úplná ztráta nuceného průtoku chladiva reaktorem
- Chybná činnost řídicích orgánů (vysunutí jednoho svazku při plném výkonu)
- Neúmyslné zavezení a provoz palivového souboru v nesprávném místě aktivní zóny
- Prasknutí trubek instrumentace nebo jiných potrubí, která jsou připojena k tlakové hranice chladiva reaktoru a která procházejí stěnami ochranné obálky (větší průměry)
- LOCA (malé roztržení nebo netěsnost v rámci primárního okruhu)
- Netěsnosti nebo poruchy integrity v systému radioaktivních plynných odpadů
- Netěsnosti nebo poruchy integrity v systému radioaktivních kapalných odpadů
- Postulované úniky radioaktivních látek v důsledku porušení nádrží kapalných médií
- Nehody spojené s pádem kontejneru s vyhořelým palivem

Kategorie IV: Limitující nehody (= havarijní podmínky)

Události Kategorie IV jsou takové nehody, u kterých se neočekává, že nastanou, ale jsou postulovány proto, že jejich důsledky by zahrnovaly potenciální možnost vypouštění značného množství radioaktivního materiálu. Jsou to nejnepříznivější nehody, vůči nimž musí být zařízení projektováno, a reprezentují limitující projektové případy. Specifická kritéria pro události Kategorie IV ověřují/potvrzují následující obecná kritéria přijatelnosti:

1. Vypouštění radioaktivních materiálů nesmí vést k nepřijatelným rizikům pro zdraví obyvatelstva a jeho bezpečnost porušením (nedodržením) Vyhlášky o radiační ochraně..

2. Nesmí následovat ztráta funkce systémů potřebných ke zvládnutí nehody, včetně funkce havarijního chlazení aktivní zóny a funkce ochranné obálky.

Nehody zahrnuté v této kategorii jsou následující:

- Spektrum porušení parovodů (větší)
- Prasknutí potrubí napájecí vody
- Zadření rotoru hlavního cirkulačního čerpadla (zabržděný rotor)
- Prasknutí hřídele hlavního cirkulačního čerpadla
- Spektrum nehod s vystřelením regulačního svazku
- Prasknutí trubky parogenerátoru
- LOCA (velké roztržení v rámci primárního okruhu)
- Poruchy na vnitřní straně parogenerátoru (porušení těsnosti víka kolektoru parogenerátoru na primární straně)
- Projektové nehody při zacházení s palivem uvnitř ochranné obálky a v budovách skladování vyhořelého paliva

Události Kategorie I jsou analyzovány v jiných částech bezpečnostní zprávy, díl 15 je věnován analýzám abnormálního provozu a havarijních podmínek, pro které stavy normálního provozu vymezují významné výchozí podmínky.

Kritéria přijatelnosti pro analýzy projektových událostí

Posláním specifických kritérií je prokázání prostřednictvím existujících parametrů jaderné elektrárny, že jsou splněna obecná projektová kritéria nebo požadavky legislativy. Splnění jednotlivých specifických kritérií se vztahuje na integritu paliva (první a druhá ochranná bariéra), na integritu tlakové hranice chladiva reaktoru (primární i sekundární okruh), na přípustnou propustnost hermetického prostoru (čtvrtá ochranná bariéra).

Největší podíl analyzovaných událostí náleží do abnormálního provozu (události Kategorie II). Pro tuto skupinu událostí se také používají nejpřísnější kritéria přijatelnosti, která musí zajistit v první řadě jak integritu paliva, tak integritu tlakové hranice chladiva reaktoru. Nepřipouští se tedy ***žádné porušení palivových proutků*** nad rozsah normálního provozu, což je kontrolováno nedosažením (s 95 %-ní pravděpodobností na 95 %-ní hladině významnosti) krizových podmínek přestupu tepla (minimální kritický tepelný poměr - DNBR - se nachází nad stanovenou hodnotou pro bezpečnostní analýzu). Podrobněji k předcházení krizovým podmínkám přestupu tepla viz část 4.4.1.

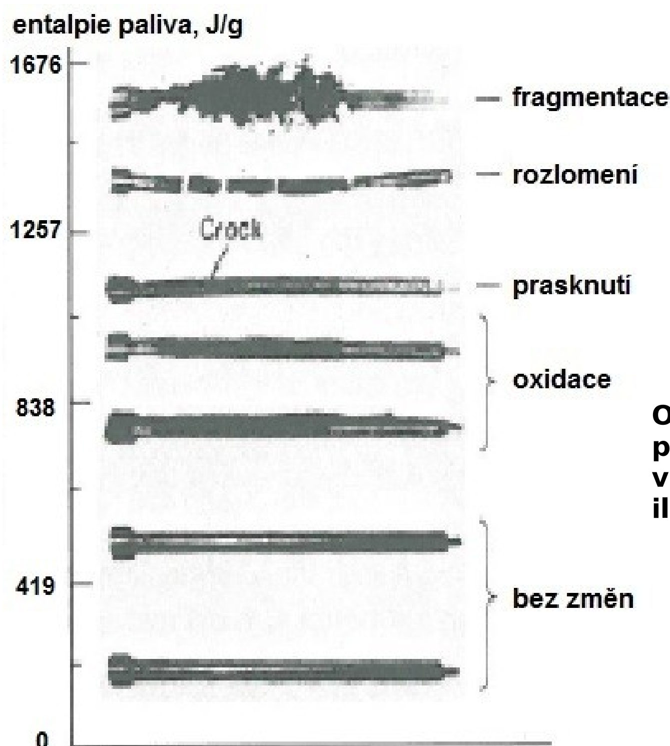
Kontrola ***zachování integrity tlakové hranice chladiva reaktoru*** je založena na nepřekročení dovolených tlaků nad danou hodnotu. Jedinou cestou, kterou se pak může dostat aktivita do okolního prostředí je vypouštění média přepouštěcími zařízeními elektrárny (v případě potřeby snížení tlaku nebo dochlazování), nebo netěsnostmi (prasknutím) potrubí, nacházejících se mimo ochrannou obálku. V takovém případě pak musí být splněna kritéria, stanovená pro maximální přípustné dávky obyvatelstva v okolí jaderné elektrárny, vyjádřené konzervativně počínaje hranicí ochranného pásma elektrárny.

U havarijních podmínek (události Kategorie III a IV) se připouští poškození palivových proutků v omezeném rozsahu (zpravidla nejvýše druhé ochranné bariéry), přičemž současně je požadováno ***neporušení čtvrté ochranné bariéry*** (např. u nehod se ztrátou chladiva), pokud nejde o přímé úniky z potrubí nacházejících se mimo ochrannou obálku. V žádném případě však ***nesmí být překročeny stanovené limity dávek obyvatelstva*** počínaje hranicí ochranného pásma elektrárny. Rozsah porušení paliva (aktivní zóny) nesmí bránit:

- ***zavedení regulačních orgánů*** do aktivní zóny v případě potřeby (omezení tvarových změn),

- ***odvodu tepla od palivového systému*** ke konečnému absorbátoru tepla (omezení teploty a oxidace pokrytí, omezení tvorby vodíku, nepřekročení teploty tavení paliva a stanovené entalpie paliva – nepřipouští se fragmentace paliva – viz obr. 15.2).

Konkrétní hodnoty aplikovaných kritérií přijatelnosti jsou podloženy doporučeními IAEA a před vlastním prováděním analýz byly předloženy SÚJB k posouzení. Kritéria, týkající se paliva, včetně předcházení krizovým podmínkám přestupu tepla jsou podloženy množstvím experimentálních dat, zpravidla organizací dodavatele paliva TVEL, ale i z jiných ověřených zdrojů. V případě hodnocení radiologických důsledků byla konkrétní kritéria vytvořena na základě Vyhlášky o radiační ochraně a jsou používána se souhlasem SÚJB.



Omezení oxidace a teploty pokrytí palivových proutků má zajistit zachování chladitelné geometrie aktivní zóny pro dlouhodobý odvod tepla a případnou demontáž aktivní zóny, omezení entalpie paliva má předcházet vzniku extrémních tlakových pulsů při jeho fragmentaci - viz ilustrativní obrázek 15.2.

Obr. 15.2: Charakteristické chování palivových proutků v závislosti na velikosti akumulované energie – ilustrace pro omezení entalpie paliva

Pro hodnocení událostí z hlediska krizových podmínek přestupu tepla se používá poměr kritického a skutečného tepelného toku (DNBR) v daném místě aktivní zóny, přičemž minimum tohoto poměru nesmí klesnout pod vyhodnocenou limitní hodnotu, zajišťující nedosažení krizových podmínek s 95 %-ní pravděpodobnost na 95 %-ní hladině významnosti. Tato limitní hodnota zajišťuje, že skutečný tepelný tok nepřekročí hodnotu, která by znamenala přechod do blánového varu na povrchu palivových proutků. SÚJB byla doporučena korelace PG-I (příp. PG-S) s vyhodnoceným korelačním limitem 1,125 (resp. 1,126).

V dokumentaci dodavatele paliva se uplatňují stejná kritéria přijatelnosti, pouze v případě kritéria pro nedosažení krize varu je zaveden koeficient rezervy $\mathbf{K_{rez}=DNBR\times(1-\Delta)}$, zahrnující výpočtovou nepřesnost Δ. Při kontrole splnění jednotlivých kritérií se u všech analyzovaných událostí ověřuje, zda nedošlo k překročení limitní hodnoty daného kritéria. Tedy nepožadují se žádné další rezervy např. na uvažovanou událost apod.

Konkrétní kritéria jsou pro jednotlivé analyzované události vybírána z následujícího seznamu:

Nedosažení krize varu: Musí existovat 95 %-ní pravděpodobnost na 95 %-ní hladině významnosti, že u limitujících palivových proutků nedojde ke krizi přestupu tepla.

Pro použitou korelaci DNBR to znamená, že kritérium je splněno, jestliže výpočtové minimum DNBR podle korelace PG-I (resp. PG-S) je větší než **1,125** (resp.**1,126**).

Pozn.: 1) Uvedený korelační limit pro korelaci PG-I (izolovaný kanál) je pro axiálně nerovnoměrné rozložení hustoty tepelného toku. Obdobně pro PG-S korelaci je limit **1,126**.

2) V analýzách dodavatele paliva je použita korelace OKB a kritérium je splněno při **K_{rez}>1**.

Zachování integrity primárního a sekundárního okruhu: Tlak v primárním okruhu a v sekundárním okruhu (parogenerátory a systém ostré páry) musí být udržován pod 110 %, resp. 135 % pro ATWS, projektových hodnot.

Pro primární okruh to znamená, že kritérium je splněno, jestliže maximální výpočtová hodnota tlaku v primárním okruhu nepřekročí: **15,2 MPa** (abs.), resp. **18,6 MPa** (abs.) pro ATWS.

Pro sekundární okruh to znamená, že kritérium je splněno, jestliže maximální výpočtová hodnota tlaku v sekundárním okruhu nepřekročí: **6,15 MPa** (abs.), resp. **7,5 MPa** (abs.) pro ATWS.

Nedosažení teploty tavení paliva: Nesmí docházet k žádnému tavení palivových tabletek, a to ani lokálně.

Kritérium je splněno, jestliže pro palivovou tabletku s nulovým vyhořením nepřesáhne maximální výpočtová hodnota teploty **2840 °C** pro UO_2 bez Gd_2O_3, resp. **2550 °C** pro UO_2 + 3,35 % Gd_2O_3.

Kritérium je splněno, jestliže pro palivovou tabletku s maximálním vyhořením nepřesáhne maximální výpočtová hodnota teploty **2770 °C** pro UO_2 bez Gd_2O_3, resp. **2480 °C** pro UO_2 + 3,35 % Gd_2O_3.

Pozn.: Bez rozlišení typu palivového proutku a vyhoření platí obalová hodnota **2480 °C**.

Nepřekročení entalpie paliva: Radiálně středovaná (po poloměru palivové tabletky) entalpie v palivové tabletce nesmí v žádném axiálním úseku palivového proutku převýšit předepsanou hodnotu.

Kritérium je splněno, jestliže maximální výpočtová hodnota radiálně středované entalpie paliva nepřekročí:

840 J/G (požadavek SÚJB), resp. **953 J/g** podle dodavatele paliva, při vyhoření v tabletce do 50 MWd/kgU,

690 J/g při vyhoření v tabletce větším než 50 MWd/kgU.

Pozn.: Bez rozlišení vyhoření palivového proutku platí obalová hodnota **690 J/g**.

Nepřekročení teploty pokrytí: Teplota pokrytí palivového proutku nesmí překročit předepsanou hodnotu.

Kritérium je splněno, jestliže maximální výpočtová hodnota teploty pokrytí nepřekročí **1200 °C**

Nepřekročení lokální oxidace pokrytí: Celková lokální oxidace pokrytí nesmí převýšit předepsanou hodnotu.

Kritérium je splněno, jestliže maximální výpočtová hodnota lokální oxidace pokrytí nepřekročí:

18 % podle korelace VNIINM (ruská výzkumná instituce)

17 % podle korelace Baker-Just (mezinárodně akceptovaná historická korelace)

Pro české organizace požaduje SÚJB také kontrolu pomocí alternativního kritéria ÚJP Praha pro zbytkovou tažnost, podle kterého musí platit

$$K \leq 1,$$

kde $K = A \times \exp(-B/T) \times \sqrt{\tau}$, A = 3800, B = 14170 (T je teplota [K], τ je doba expozice).

Pozn.: Pod celkovou lokální oxidací pokrytí palivového proutku se rozumí celková tloušťka ekvivalentní vrstvy Zr (které by zreagovalo s vodní párou za předpokladu, že veškerý místně pohlcený kyslík byl spotřebováván na vytvoření ZrO_2), vztažená k počáteční tloušťce pokrytí.

Kritérium pro **nepřekročení lokální oxidace pokrytí** se používá neoddělitelně s kritériem pro **nepřekročení teploty pokrytí**.

Nepřekročení množství generovaného vodíku: Celkové množství vodíku generovaného z chemické reakce pokrytí s vodou a párou nesmí převýšit předepsanou hodnotu

Kritérium je splněno, jestliže maximální výpočtová hodnota lokální oxidace pokrytí nepřekročí ***1%*** hmotnosti materiálu pokrytí palivových proutků v aktivní zóně.

Nepřekročení dávek ozáření: Napočtené dávky musí být pod limity pro abnormální provoz nebo havarijní podmínky s uvážením událostí generovaného zvýšení koncentrace jódu (jódová špička) a rovnovážné koncentrace jódu při pokračujícím provozu na plném výkonu, a s uvážením skutečné aktivity v chladivu primárního a sekundárního okruhu.

Kritérium je splněno pro **abnormální provoz**, jestliže maximální výpočtové hodnoty nepřekročí efektivní dávku na celé tělo:

ZBC: ***250 mikroSv/rok***
ZBL: ***1 mSv/rok***
KP: ***12,5 mSv/50 let***

Kritérium je splněno pro havarijní podmínky **s řídkou četností výskytu**, jestliže maximální výpočtové hodnoty nepřekročí efektivní dávku na celé tělo:

ZBC: ***1 mSv/rok***
ZBL: ***5 mSv/5let***

Kritérium je splněno pro havarijní podmínky, **jejichž výskyt se za dobu provozu JE neočekává**, jestliže maximální výpočtové hodnoty nepřekročí efektivní dávku na celé tělo:

ZBL: ***5 mSv/5let*** *(ZBL)*
KP: ***10 mSv/2dny***
30 mSv/měsíc
50 mSv/50 let
100 mSv *(úvazek ekvivalentní dávky na štítnou žlázu)*

ZBC - základní bezpečnostní cíl, **ZBL** - základní bezpečnostní limit, **KP** - kritérium přijatelnosti.

Pozn.: Odstupňování kritérií je chápáno v tomto smyslu: KP – kritérium přijatelnosti musí být splněno jako nutná podmínka akceptovatelnosti důsledků uvažované události; ZBL – představuje přímé plnění podmínek Vyhlášky o radiační ochraně a splnění ZBC lze považovat za splnění dokonce optimalizační meze pro provoz jaderného zařízení.

Dostatečnost doby pro zásah obsluhy: Od okamžiku, kdy signál informuje operátora o neplánovaném snížení koncentrace kyseliny borité v primárním okruhu, musí existovat minimální časové intervaly do okamžiku dosažení kritického stavu nebo do té doby, dokud nedojde ke ztrátě zásoby reaktivity, potřebné pro udržení odstaveného reaktoru.

Kritérium je splněno, jestliže minimální výpočtová hodnota doby dosažení kritického stavu činí:
30 minut během výměny paliva,
15 minut během spouštění, studeného odstavení, horké rezervy a provozu na výkonu
30 minut v případě ATWS

Pozn.: I když je kritérium konkretizováno pro případy ředění bóru v chladivu primárního okruhu, může být jeho analogie uplatněna i v jiných případech, vyžadujících zásah obsluhy pro ukončení vzniklé situace (v souladu s postupy pro řešení mimořádných stavů).

Následující kritéria mají specifické určení a nejsou uplatněna ve stávající osnově dílu 15.

Nedosažení sekundární kritičnosti: Musí být zajištěna podkritičnost reaktoru během dlouhodobého dochlazování. Pro krátkodobé zajištění podkritičnosti je postačující nedosažení teploty sekundární kritičnosti.

Kritérium je pro události kromě ATWS splněno, jestliže teplota chladiva během vychlazování neklesne pod **195 °C** (za nepřítomnosti bóru).

Kritérium je pro události ATWS splněno, jestliže je zajištěna podkritičnost nejméně **1%**.

Nepřekročení tlaku v hermetických prostorech: Napočtená hodnota maxima tlaku v hermetických prostorech musí být menší než projektová hodnota a napočtená hodnota minima tlaku v hermetických prostorech musí být větší než odpovídající přijatelná hodnota.

Kritérium je splněno, jestliže minimální výpočtová hodnota absolutního tlaku v hermetických prostorech neklesne pod **80 kPa** (podtlak **20 kPa**).

Nepřekročení rozdílů tlaků: Rozdíly tlaků působící na vnitřní konstrukce hermetických prostorů důležité pro zachování jejich integrity musí být udržovány pod přijatelnou hodnotou.

Kritérium je splněno, jestliže tlaky uvnitř barbotážní věže se nacházejí v rozsahu hodnot pro projektové výpočty 18-35 kPa.

Nepřekročení maximální teploty vnitřní hermetické oblicovky: Vypočtená maximální teplota vnitřní hermetické oblicovky musí být menší než odpovídající hodnota konstrukčního limitu a vypočtená střední teplota atmosféry omezená teplotou sytosti v hermetických prostorech nesmí překročit limitní obálkové křivky dané kvalifikací zařízení.

Kritérium je splněno, jestliže maximální teplota pro vnitřní hermetickou oblicovku nepřekročí **127 °C**, přičemž průběh střední teploty atmosféry omezené teplotou sytosti při daném tlaku v jednotlivých částech HZ musí být menší nebo roven kvalifikační obálkové křivce pro příslušnou část HZ, která je určena aktuální revizí dokumentu EQ-C2-90-00/01.

Kritéria přijatelnosti pro ATWS: Obecný smysl a znění kritérií je stejné jako v případě kritérií výše, tj. mají kontrolovat zachování integrity primárního okruhu, chladitelnost paliva, reaktivitu pro odstavení reaktoru a případně radiologické důsledky vně jaderné elektrárny.

Souhrnně je přehled aplikovaných kritérií pro analyzované události v rámci jednotlivých kategorií uveden v tab. 15.2.

Tabulka 15.2: Kritéria přijatelnosti pro události abnormálního provozu a havarijních podmínek

Zkrácená formulace kritéria přijatelnosti	Použito pro (kategorii)
Nedosažení krize varu (DNBR): PG-I, korelační limit (izolovaný kanál) 1,125 PG-S, korelační limit (subkanálový model) 1,126	abnormální provoz (II)
Nepřekročení maxim tlaků (abs. tlak): 15,2 MPa v primárním okruhu (18,6 MPa ATWS) 6,15 MPa v sekundárním okruhu (7,5 MPa ATWS)	abnormální provoz (II), havarijní podmínky (III, IV)

Zkrácená formulace kritéria přijatelnosti	Použito pro (kategorii)
Nedosažení teploty tavení paliva: 2770 °C pro proutky bez Gd_2O_3 (2840 °C čerstvé palivo) 2480 °C pro proutky s 3,35 % Gd_2O_3 (2550 °C čerstvé palivo)	abnormální provoz (II), havarijní podmínky (III, IV)
Nepřekročení radiálně středované entalpie v palivové tabletce: 840 J/g při vyhoření v tabletce do 50 MWd/kgU 690 J/g při vyhoření v tabletce větším než 50 MWd/kgU	havarijní podmínky (III, IV)
Nepřekročení teploty pokrytí palivového proutku: 1200 °C	havarijní podmínky (III, IV)
Nepřekročení celkové lokální oxidace pokrytí: 17 % počáteční tloušťky pokrytí před oxidací pro korelaci Baker-Just 18 % počáteční tloušťky pokrytí před oxidací pro korelaci VNIINM Nepřekročení hodnoty K = 1 pro alternativní kritérium ÚJP pro zbytkovou tažnost	havarijní podmínky (III, IV)
Nepřekročení celkového množství vodíku generovaného z chemické reakce pokrytí s vodou a párou odpovídající zreagovanému 1% hmotnosti materiálu pokrytí palivových proutků v aktivní zóně	havarijní podmínky (III, IV)
Nepřekročení dávek u radiologických důsledků v souladu s kategorií události	abnormální provoz (II), havarijní podmínky (III, IV)
Dostatečná doba pro zásah obsluhy: 30 minut během výměny paliva 15 minut během spouštění, studeného odstavení, horké rezervy a provozu na výkonu 30 minut pro ATWS	abnormální provoz (II)

Kritéria porušení palivových proutků

Pro hodnocení radiologických důsledků událostí s únikem radioaktivního média do okolního prostředí (havarijní podmínky) jsou pro konzervativní vyhodnocování porušení 1. a 2. ochranné bariéry (tabletka a pokrytí) k dispozici kritéria porušení pokrytí (KPP - palivových proutků). Použití konkrétního kritéria se zdůvodňuje v souladu s použitou metodikou u příslušné události.

Přehřátí pokrytí: Všechny palivové proutky, u nichž je dosaženo krizových podmínek přestupu tepla, se považují za porušené, pokud není ukázáno pomocí přijatelného modelu poškození paliva nebo pomocí experimentů, že nastane příznivější poškození paliva.

Kritérium pro přehřátí pokrytí se považuje za naplněné, jestliže minimum výpočtové hodnoty DNBR dosáhne korelačního limitu použité korelace DNBR.

Přehřátí palivové tabletky: Všechny palivové proutky, u nichž je dosaženo stanovené radiálně středovaná entalpie v kterémkoliv axiálním úseku palivového proutku, se považují za porušené.

Kritérium pro přehřátí palivové tabletky se považuje za naplněné, jestliže maximum výpočtové hodnoty entalpie paliva překročí hodnotu **586 J/g** (do vyhoření přibližně ~ 30 MWd/kgU s následným poklesem v závislosti na vyhoření tabletky až k hodnotě ~**274 J/g** pro 80 MWd/kgU)..

Překročení výkonových limitů paliva: Všechny palivové proutky, u nichž je výkon proutku nebo lokální lineární výkon vyšší než přípustné limitní hodnoty, se považují za porušené.

Kritérium se považuje za naplněné, jestliže výpočtové maximum výkonu proutku nebo výpočtové maximum lokálního lineárního výkonu proutku překročí příslušné limitní hodnoty.

Hodnocení dle prvního kritéria porušení se vztahuje ke všem havarijním podmínkám (pokud není uvedeno jinak), hodnocení dle zbývajících dvou kritérií je relevantní pro některé události spojené s anomáliemi reaktivity a distribuce výkonu.

Při aplikaci několika kritérií pro uvažovanou událost se obecně sestavují scénáře nepříznivé z hlediska aplikovaného kritéria. Kromě přímé analýzy lze v odůvodněných případech splnění kritéria také vyhodnotit porovnáním s jiným průběhem, apod.

Pro události abnormálního provozu je klíčovým kritériem nedosažení krizových podmínek přestupu tepla, zbývající parametry se v takových případech udržují zpravidla dostatečně daleko od svých limitních hodnot. Na druhé straně, pokud vede průběh události abnormálního provozu k možnosti dosažení limitních tlaků v primárním okruhu, zůstává v takovém případě s dostatečnou rezervou zachováno kritérium nedosažení krize varu.

U některých událostí havarijních podmínek jsou splnitelná kritéria pro abnormální provoz. Pak jsou aplikována tato kritéria, přičemž kritéria pro havarijní podmínky jsou tím splněna automaticky. Může se to týkat např. prasknutí parních potrubí, zadření rotoru, nebo prasknutí hřídele hlavního cirkulačního čerpadla, apod.

Základní charakteristiky bloku a nastavení bezpečnostních systémů

Údaje v databázi vstupních dat mají buď charakter neměnných hodnot (jako jsou dispoziční nebo rozměrové parametry, parametry jednotlivých zařízení, apod.) nebo hodnot závislých na provozních stavech, jakými jsou např. neutronově fyzikální a na nich závislé parametry. Pro takové proměnné parametry jsou vymezeny rozsahy, v jejichž rámci jsou provedeny analýzy, ověřující bezpečnost provozu uvažovaného bloku. Mezi nejzákladnější charakteristiky bloku patří výkon reaktoru a parametry chladiva primárního okruhu.

Na základě podrobných neutronově-fyzikálních údajů a s respektováním jejich dlouhodobě sledovaného vývoje (trendy) jsou sestaveny parametry pro konzervativní analýzy, přičemž jsou sestaveny i hodnoty, specifické pro danou specifickou událost. Hodnoty takto sestavených tabulek jsou uplatňování při projektování vsázek a následně kontrolovány při ověření platnosti výsledků analýz pro každou navrhovanou palivovou vsázku v souladu s principy příslušné metodiky.

Součástí vstupních dat jsou také tabulky obsahující nastavení bezpečnostních systémů (včetně časových zpoždění) použité v bezpečnostních rozborech. Jedná se zejména o hodnoty nastavení pro rychlé odstavení reaktoru (včetně zpoždění) a hodnoty nastavenípro iniciaci technických prostředků pro zajištění bezpečnosti (včetně zpoždění).

15.1.2 Použité kódy a modely

Bezpečnostní analýzy jsou prováděny prostřednictvím výpočtových kódů, které procházejí periodickým hodnocením SÚJB. V následujícím přehledu jsou uvedeny charakteristiky kódů, které byly použity pro analýzy dále komentovaných skupin událostí. Pro některé specifické analýzy v kap. 15.7 jsou popisy použitých programů nebo odkazy na ně v příslušné doprovodné dokumentaci (RDEDU, ABAQUS a j.).

RELAP5/MOD3.3 - obecně se program RELAP5 používá pro termohydraulické analýzy nehod na jaderných elektrárnách, především nehod s únikem chladiva z primárního a sekundárního a přechodových procesů.

DYN3D/verze 3.2 – je verze třírozměrného dvougrupového difúzního neutronově-kinetického kódu v hexagonální geometrii, zahrnujícího zpětné vazby reaktivity od teploty paliva, od teploty a hustoty moderátoru, a od koncentrace kyseliny borité a je určen pro modelování událostí s rychlými změnami reaktivity reaktoru.

HAVAR-DET slouží k analýze a ocenění radiační situace v okolí JE při výskytu mimořádných úniků radionuklidů do životního prostředí. Do výpočtů pro bezpečnostní zprávy používá program verzi přímočarého šíření vlečky, přičemž se počítají dávky v jednotlivých kategoriích počasí podle Pasquillova třídění A až F.

HERALD slouží k modelování transportu aktivit atmosférou (s využitím Gaussovského popisu rozptylu) a k řešení radiačních dopadů na civilní obyvatelstvo (určení efektivních popřípadě ekvivalentních dávek).

CONTG řeší časový průběh aktivit štěpných produktů v palivu a jednotlivých objemech hermetických prostorů na jaderné elektrárně v případě nehody spojené s poškozením hermetičnosti palivových proutků. Dále dovoluje výpočet časového průběhu integrálu aktivit v jednotlivých prostorech.

BIPR-7A je určen pro výpočty statických neutronově fyzikálních charakteristik aktivní zóny a je standardně používán pro návrhy palivových cyklů bloků VVER 440.

COCOSYS je výpočetní program pro řešení chování kontejnmentu za projektových i nadprojektových nehod v ochranných obálkách JE s tlakovodními reaktory.

RELAP5-3D® je odvozen z jednodimenzionálního programu RELAP5/MOD3 a jedná se o vícerozměrný termohydraulický kód, který umožňuje uživateli přesněji popsat chování vícerozměrného proudění ve vybraných komponentách systémového modelu.

VIPRE-01 je výpočetní kód určený pro subkanálovou analýzu. Jedná se o 3D výpočetní program založený na metodě konečných objemů.

15.1.3 Definice konzervativního přístupu - konzervativní předpoklady a počáteční a okrajové podmínky

Cílem konzervativních analýz je prokázat, že požadovaná kritéria přijatelnosti jsou splněna i v případě nejnepříznivějšího průběhu analyzovaných událostí. Nejnepříznivější průběh je dosahován:

- rozsahem iniciační události abnormálního provozu nebo havarijních podmínek,
- výchozími předpoklady a volbou počátečních podmínek,
- předpoklady o činnosti důležitých řídicích a bezpečnostních systémů.

Rozsah iniciační události představuje definici nejnepříznivější možné poruchy v dané skupině, jako je např. rychlost vzniku a velikost otvoru při roztržení potrubí, počáteční konfigurace regulačních kazet při jejich nesprávné činnosti, atd. Vychází zpravidla z existujících parametrů zařízení, konzervativně jsou však uvažovány parametry zařízení v okamžiku poruchy, způsob vzniku a dalšího rozvoje poruchy, apod. Průběh analyzovaných událostí je modelován po dobu nezbytnou pro spolehlivé zjištění, že bylo dosaženo extrémů parametrů všech sledovaných kritérií přijatelnosti.

Počáteční podmínky zahrnují základní počáteční podmínky bloku (provoz smyček, výkon, průtok, teplota a tlak chladiva, hladiny v kompenzátoru objemu, v parogenerátorech, tlak páry, parametry napájecí vody, apod.), základní počáteční podmínky aktivní zóny (koeficienty reaktivity, kinetické parametry, parametry ochran reaktoru, apod.) a základní počáteční podmínky pro systém havarijního chlazení aktivní zóny a pro ochrannou obálku (počáteční tlak a teplota v ochranné obálce, teplota vody a hladiny v nádržích, charakteristiky čerpadel, apod.). Na základě těchto počátečních podmínek jsou formulovány výchozí předpoklady takovým způsobem, aby sestavená vstupní data vedla k nejméně příznivým výsledkům z hlediska sledovaných kritérií přijatelnosti.

Předpoklady (jako okrajové podmínky) o činnosti důležitých řídicích a ochranných systémů se týkají neurčitostí u nastavení ochran a spouštění bezpečnostních systémů (od různých parametrů), časových zpoždění pro iniciaci bezpečnostních systémů, (ne)činnosti důležitých řídicích systémů (limitační systém, řídicí systém, doplňování a odpouštění primárního okruhu, elektroohříváky kompenzátoru objemu, přepouštěcí stanice do kondenzátoru, apod.) a charakteristik ventilů bezpečnostních systémů

určených ke snižování tlaku v primárním a sekundárním okruhu (otvírací/zavírací tlaky, hltnosti, apod.).

Kromě uvedených počátečních a okrajových podmínek je specifickým předpokladem uvažování jednoduché poruchy, pokud je pro danou událost relevantní a částečná neprovozuschopnost bezpečnostních systémů v důsledku povolených oprav dle Limitů a podmínek. Detailně je pro každou analyzovanou událost přístup k modelování jednoduché poruchy a neprovozuschopnosti bezpečnostních systémů spolu s případným uvažováním nebo neuvažováním ztráty pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení definován v příslušné metodice výpočtu.

Všechny uvedené předpoklady jsou sestaveny pro každou analyzovanou událost na základě vstupních dat a jsou součástí jejího popisu. Aby byla zajištěna jednoznačnost v použití údajů dle vstupních dat, je u každé analyzované události uváděna konkrétně použitá sada včetně stručného zdůvodnění výběru, případně podložená výsledky podpůrných výpočtů. Připouští se samozřejmě také použití konzervativnějších hodnot pro uvažovaný proces, než je uvedeno v příslušných vstupních datech (týkalo se zejména neutronově-fyzikálních charakteristik, nepřesností měřicích obvodů, apod.). V této Veřejné bezpečnostní zprávě JE Dukovany však nejsou takové detailní informace uváděny.

15.1.4 Seznam nejčastěji používaných zkratek v dílu 15

V následujících kapitolách 15.1 až 15.9 jsou nejčastěji se vyskytujícími zkratkami následující:

ATWS očekávané přechodové procesy bez rychlého odstavení reaktoru
AZ aktivní zóna reaktoru
DNBR kritický tepelný poměr
ESFAS systém pro spuštění technických prostředků pro zajištění bezpečnosti
HCČ hlavní cirkulační čerpadlo
HPK hlavní parní kolektor
HRK havarijní, regulační a kompenzační kazeta / kazety
I.O primární okruh
II.O sekundární okruh
KO kompenzátor objemu
LOCA nehoda s únikem chladiva
N výkon
nom nominální
PG parogenerátor
PSA přepouštěcí stanice do atmosféry
PSK přepouštěcí stanice do kondenzátoru
PVKO pojistný ventil KO
PVPG pojistný ventil parogenerátoru
RTS systém pro rychlé odstavení reaktoru
TG turbogenerátor
ZPRZEN ztráta pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení

15.2 Zvýšení odvodu tepla sekundárním okruhem

Tato skupina zahrnuje následující podskupiny událostí, jejichž přijatelnost z hlediska sledovaných kritérií je hodnocena:

15.1.1 Chybné funkce systému napájecí vody, které vedou ke snížení teploty napájecí vody
15.1.2 Chybné funkce systému napájecí vody, které vedou ke zvýšení průtoku napájecí vody
15.1.3 Chybná funkce regulátoru tlaku páry nebo porucha vedoucí ke zvýšení průtoku páry
15.1.4 Neúmyslné otevření přepouštěcích nebo pojistných ventilů parogenerátoru

15.1.5 Spektrum porušení parovodů uvnitř a vně ochranné obálky

Při analýzách jednotlivých událostí těchto podskupin se používají následující kritéria přijatelnosti: nedosažení krizových podmínek přestupu tepla na vnějším povrchu žádného palivového proutku, nedosažení teploty tavení paliva a nepřekročení dovolené hodnoty tlaku chladiva v primárním okruhu během celého procesu. Z rozboru provedených výpočtů vyplynulo, že z celé skupiny iniciačních událostí 15.1 je možné vyčlenit určující události z hlediska jmenovaných kritérií přijatelnosti a na základě výsledků výpočtů těchto rozhodujících událostí prokázat bezpečnost provozu při použití konzervativně zobecněných charakteristik systémů a součástí reaktorového zařízení.

Dosažení krizových podmínek přestupu tepla v aktivní zóně je možné v důsledku snížení průtoku chladiva, zvýšení jeho teploty, snížení tlaku nebo zvýšení výkonu reaktoru. Pro danou skupinu událostí 15.1, souvisejících se zvýšením odvodu tepla sekundárním okruhem, je charakteristické zejména zvýšení výkonu reaktoru, způsobené dvěma procesy: vnesením kladné reaktivity jako důsledku snížení teploty chladiva na vstupu do aktivní zóny a vnesením kladné reaktivity v důsledku nesprávné činnosti řídicího systému, který ve snaze udržovat konstantní tlak v hlavním parním kolektoru zvyšuje výkon reaktoru. Příčinou snížení tlaku v hlavním parním kolektoru je zpravidla neřízené otevření a nedovření jednoho (příp. více) ze zařízení přepouštění páry nebo prasknutí parních potrubí.

K překročení tlaku v primárním okruhu v režimech, spojených se zvýšením odvodu tepla sekundárním okruhem, může dojít v důsledku dodávání roztoku bóru vysokotlakými čerpadly a v důsledku zhoršující se tepelné výměny se sekundárním okruhem (protože v něm probíhá dlouhotrvající růst tlaku od ~ 2,5 MPa do hodnoty nastavení pro zafungování PSA). Přitom maximální dosahovaný tlak v primárním okruhu je určován tlakem pro zapůsobení zařízení KO snižujících tlak, s uvážením dynamiky přechodového procesu. Na základě výsledků provedených výpočtů lze konstatovat, že maximální hodnota tlaku v primárním okruhu se dosahuje v režimu s plným otevřením všech PSK.

V průběhu uvažovaných procesů se může reaktor po odstavení prostřednictvím HRK dostat opět do kritického stavu. Tato sekundární kritičnost může být v aktivní zóně dosažena jak v případě vtoku „studeného“ chladiva (s nižší teplotou než je teplota sekundární kritičnosti) ze všech smyček, tak i v případě vtoku „studeného“ chladiva pouze z jedné, porušené smyčky (v tomto případě může být sekundární kritičnost dosažena při „nadkritičnosti“ jednoho ze sektorů aktivní zóny). Symetrické „hluboké“ vychlazení aktivní zóny reaktoru je možné při kumulaci mnohonásobných selhání v činnosti zařízení, včetně současného prasknutí několika parovodů. Podobné režimy však náleží do oblasti málo pravděpodobných nadprojektových nehod, které nejsou v tomto technickém řešení zkoumány.

Nesymetrické vychlazování aktivní zóny je pravděpodobnější, protože je zpravidla spojeno s jednoduchou poruchou zařízení sekundárního okruhu. Podle získaných výsledků se největší vychlazování sektoru aktivní zóny dosahuje při prasknutí parního potrubí nebo HPK a při otevření všech PSK, kdy je snížení teploty na výstupu z postižené smyčky podmíněno dvěma efekty: prudkým zvýšením odvodu tepla postiženým parogenerátorem a dodávkou „studené“ vody od vysokotlakých čerpadel vysokotlakého havarijního systému. Případné použití kritéria nedosažení sekundární kritičnosti, pokud je splněno, umožňuje vyhnout se problémům s popisem rozložení výkonu při nesymetrickém vychlazení aktivní zóny.

U podskupin, kde mohou být příčiny poruchy různé a důsledky nelze předem ocenit (vyhodnotit), jsou k dispozici výsledky analýz více případů, případně variant s odlišnými předpoklady pro příslušné kritérium přijatelnosti. Zde jsou pak prezentovány případy s nejméně příznivými výsledky. U podskupin s mírným průběhem procesů a velkými rezervami do limitů kritérií přijatelnosti lze jako ilustrativní využít znalostí jejich průběhů podle dřívějších analýz a provést úplné nebo dílčí vyhodnocení s odkazem na analýzy s nepříznivějšími průběhy (týká se konkrétně částí 15.1.1, 15.1.2, 15.1.3). Jako reprezentativní události s nejméně příznivými důsledky z hlediska sledovaných kritérií přijatelnosti v této skupině jsou události analyzované v částech 15.1.4 a 15.1.5, z

událostí s méně nepříznivými důsledky 15.1.1 až 15.1.3 byly pro analýzy vybrány nejméně příznivé události z hlediska některého ze sledovaných kritérií přijatelnosti (minimum DNBR: 15.1.1, maximum tlaku v sekundárním okruhu: 15.1.2).

Kromě výše zmíněných termohydraulických kritérií přijatelnosti je v této skupině událostí ověřována také přijatelnost radiologických důsledků, jelikož dochází k úniku média sekundárního okruhu do okolní atmosféry. Protože přitom nedochází k porušení palivových proutků nad rámec normálního provozu, mohou výsledky analýzy radiologických důsledků z této skupiny sloužit jako obalové pro všechny analýzy abnormálního provozu, u kterých dochází k menšímu vypouštění média okolní atmosféry.

15.2.1 Chybné funkce systému napájecí vody, které vedou ke snížení teploty napájecí vody

Identifikace příčin a popis události

Snížení teploty napájecí vody při výkonovém provozu může být způsobeno například výpadkem nízkotlakých nebo vysokotlakých regeneračních ohříváků, neřízeným otevřením obtoku vysokotlakých regeneračních ohříváků, poruchou v regulaci parametrů napájecí nádrže, neřízeným startem havarijního napájecího čerpadla, falešným spuštěním dodávky superhavarijní napájecí vody, případně dalšími chybnými funkcemi zařízení II.O.

Další chybná zafungování zařízení II.O vedoucí ke snížení teploty napájecí vody mohou být identifikována pro nevýkonové stavy a režimy při najíždění případně odstavování bloku, což vyplývá z odlišné konfigurace zařízení II.O v těchto režimech.

Při provozu na výkonu v důsledku poruchy v řídicím systému nebo při zvýšení hladiny kondenzátu ve vysokotlakém regeneračním ohříváku může dojít k neúmyslnému otevření obtokového ventilu tohoto ohříváku. Přitom do 3 ze 6-ti PG bude vstupovat voda o teplotě 164 °C. Proto jako reprezentativní iniciační událost je uvažováno otevření ventilu na obtoku vysokotlakého regeneračního ohříváku a současné zavření ventilů na vstupu a výstupu tohoto ohříváku.

Bezprostředním důsledkem události je pokles tlaků především v sekundárním okruhu.

Průběh události a činnost systémů

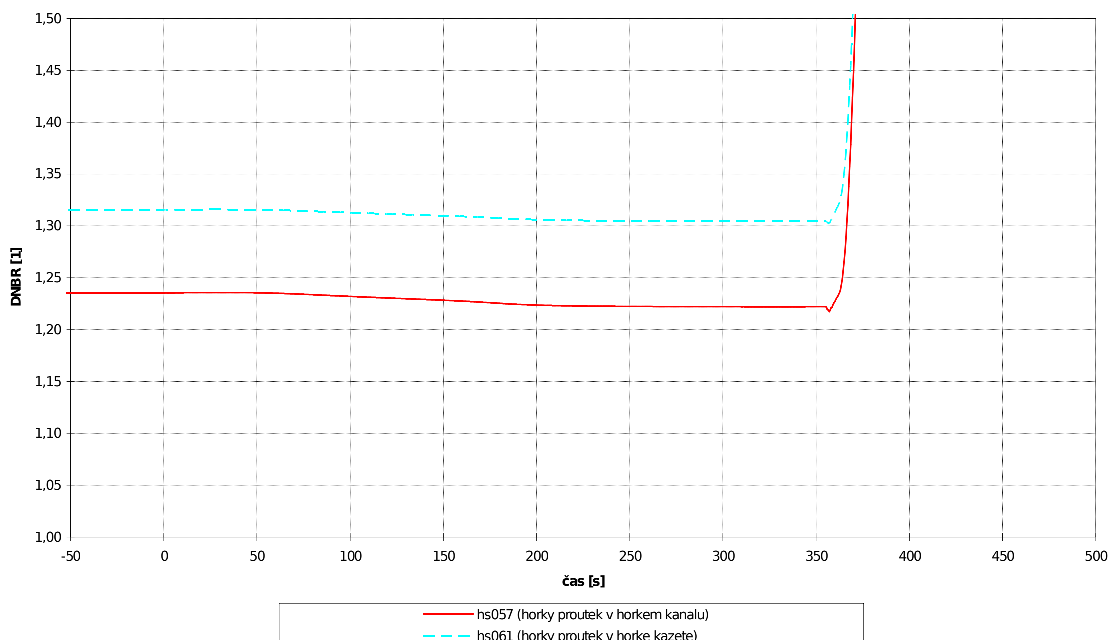
Snížení teploty napájecí vody vede ke snížení teploty v PG a následně ke snížení teploty v I.O. Působením záporného koeficientu reaktivity od teploty moderátoru pak dochází k samovolnému nárůstu výkonu reaktoru. Pokud je nárůst výkonu menší, než by odpovídalo zapracování signálu RTS od zvýšeného výkonu reaktoru na 110 % Nnom, lze očekávat pouze zapracování regulace výkonu reaktoru, případně zásah limitačního systému. Činnost systémů, zmírňujících průběh procesu, není v konzervativních analýzách uvažována.

Na sekundární straně PG může dojít k poklesu produkce páry a poklesu tlaku páry, což souvisí s tím, že teplo předávané z primárního okruhu se ve větší míře využívá na dohřev napájecí vody na teplotu sytosti. Snížená produkce páry může vést k otvírání regulačních ventilů turbogenerátoru.

Lze tedy konstatovat, že pokud nedojde k zásahu RTS, je možné očekávat samovolnou stabilizaci výkonu reaktoru na zvýšené hladině.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Událost je modelována jako neřízené otevření obtoku vysokotlakého regeneračního ohříváku. Po odstavení turbín se modeluje ztráta pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení (ZPRZEN). Od výpadku 4 nebo více hlavních cirkulačních čerpadel je modelován 2. signál pro rychlé odstavení reaktoru (1. signál není konzervativně uvažován). Průběh události lze ilustrovat průběhem minima DNBR na obr. 15.3



Obr. 15.3: Neřízené otevření obtoku vysokotlakého regeneračního ohříváku (minimalizace DNBR): Průběh DNBR na horkých proutcích v izolovaném horkém kanálu a v horké kazetě

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,218** dosažené v čase 357 s od vzniku události je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **13,0 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 280 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **5,26 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 363 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva **1550 °C** dosažené v čase 0 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že vlivem události nedochází ani k porušení palivových proutků, ani k vypouštění radioaktivního média do okolní atmosféry. Událost tedy nemá žádné radiologické důsledky.

Souhrnně lze konstatovat, že sledovaná kritéria přijatelnosti jsou splněna, a že případ snížení teploty napájecí vody vede k mírnějším důsledkům z hlediska všech sledovaných kritérií přijatelnosti než případy 15.1.4 (otevření všech PSK), 15.1.5 (roztržení parního potrubí).

15.2.2 Chybné funkce systému napájecí vody, které vedou ke zvýšení průtoku napájecí vody

Identifikace příčin a popis události

Zvýšení průtoku napájecí vody může být způsobeno například:

- neřízeným plným otevřením regulačního ventilu velké napájecí hlavy
- neřízeným otevřením ventilů malé napájecí hlavy,
- chybným startem pátého elektronapájecího čerpadla,
- chybným startem havarijního napájecího čerpadal,
- falešným spuštěním dodávky superhavarijní napájecí hlavy, atd.

Z uvedených možností se jako možnost s významnějším zvýšením průtoku NV ukazuje neúmyslné úplné otevření regulačního ventilu systému napájecí vody, jehož příčinou může být selhání v řídicích řetězcích ventilu nebo selhání pohonu. V případě selhání v řídicích řetězcích ventilu dochází k jeho úplnému otevření a ustálení maximálního přítoku napájecí vody do parogenerátoru.

Průběh události a činnost systémů

Zvýšení průtoku napájecí vody vede ke zvyšování hladiny a případně i ke snižování teploty v postiženém PG. Následně může docházet ke snížení teploty v I.O a působením záporného koeficientu reaktivity od teploty moderátoru pak k nárůstu výkonu reaktoru. Pokud je nárůst výkonu menší než by odpovídalo zafungování signálu RTS od převýšení výkonu reaktoru, pak lze očekávat pouze zapracování regulace výkonu reaktoru, případně zásah limitačního systému.

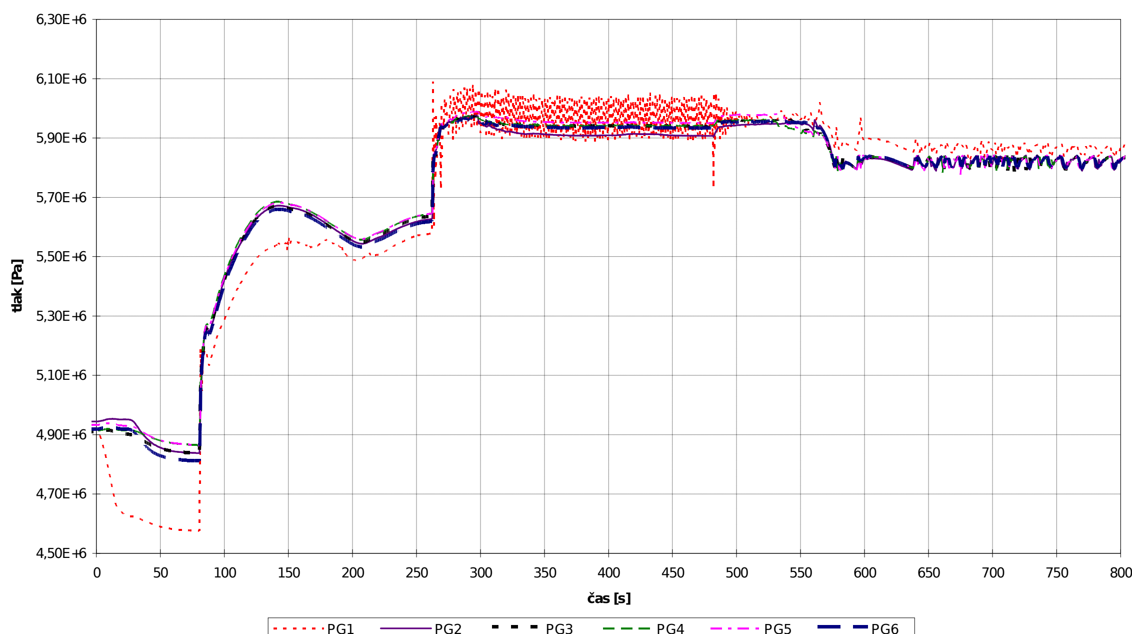
Na sekundární straně může dojít k poklesu produkce páry a poklesu tlaku páry, což souvisí s tím, že teplo předávané z primárního okruhu se ve větší míře využívá na dohřev napájecí vody na teplotu sytosti. Snížená produkce páry může vést k otvírání regulačních ventilů turbogenerátoru,

Neřízená dodávka napájecí vody do PG vede k nárůstu hladiny v postiženém PG a pokud se neuváží signály, které by dodávku napájecí vody do postiženého PG zastavily, střední hladina může narůst až na úroveň, od které se formuje signál do ochran TG a dochází k uzavření rychlozávěrných ventilů obou TG.

Po uzavření rychlozávěrných ventilů TG a při neodstaveném reaktoru je pára ze sekundárního okruhu odpouštěna přes PSK a případně i přes PSA či PVPG. Dále pokračuje růst hladiny v postiženém PG. Činnost PSA (případně PVPG) a kumulace vody v postiženém PG vedou k poklesu hladiny v napájecí nádrži. Od poklesu hladiny v napájecí nádrži dochází k vypnutí všech elektronapájecích čerpadel, po kterém dochází k poklesu hladin ve všech PG. což by postupně vedlo ke startu havarijních napájecích čerpadel. Po odstavení reaktoru některým z možných signálů pro odstavení reaktoru by došlo k obnovení hladin v PG činností havarijních napájecích čerpadel a ke stabilizaci parametrů primárního i sekundárního systému s případnou součinností obsluhy.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Událost je modelována jako plné neřízené otevření regulačního ventilu napájecí vody na linii k PG č. 1. Konzervativně není uvažován 1. signál pro rychlé odstavení reaktoru od zvýšeného tlaku v hlavním parním kolektoru, reaktor je odstaven od 2. signálu od výpadku 4 nebo více HCČ. Průběh události lze ilustrovat průběhem maxima tlaku v II.O na obr. 15.4.



Obr.15.4: Neřízené otevření regulačního ventilu napájecí vody (maximalizace tlaku v II.O): Průběhy tlaku v parogenerátorech - DETAIL

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,235** dosažené v čase 2 s od vzniku události je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **13,0 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 280 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **6,10 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 263 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva **1520 °C** dosažené v čase 0 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že vlivem události nedochází ani k porušení palivových proutků, ani k vypouštění radioaktivního média do okolní atmosféry. Událost tedy nemá žádné radiologické důsledky.

Souhrnně lze konstatovat, že případ zvýšení průtoku napájecí vody vede k mírnějším důsledkům z hlediska všech sledovaných kritérií přijatelnosti než případy 15.1.4 (otevření všech PSK), 15.1.5 (roztržení parního potrubí), kromě specifického scénáře události analyzované z hlediska maxima tlaku v II.O.

15.2.3 Chybná funkce regulátoru tlaku páry nebo porucha vedoucí ke zvýšení průtoku páry

Identifikace příčin a popis události

Jak v případě otevření regulačních ventilů TG, tak v případě zvýšení výkonu pomocí zadavače výkonu se jedná o obdobné průběhy – zvýšení výkonu turbíny (a obvykle i následné zvýšení výkonu reaktoru) a stabilizace na nové výkonové hladině. Výkon reaktoru se zvyšuje prostřednictvím poklesu sekundárního tlaku a teploty primárního chladiva (v důsledku efektu záporného teplotního koeficientu reaktivity moderátoru). Velikosti nárůstu výkonu a tím i průběh procesu mohou být ovlivněny výchozí výkonovou hladinou a výchozím otevřením regulačních ventilů turbín.

Bezprostředním důsledkem události tedy může být pokles tlaku v primárním a sekundárním okruhu, snížení střední teploty chladiva a zvýšení neutronového výkonu.

Průběh události a činnost systémů

Obecně lze říct, že iniciační události v podskupině „chybné funkce regulátoru tlaku páry vedoucí ke zvýšení průtoku páry“ nejsou významné z hlediska bezpečnosti provozu a odpovídající průběhy přechodových procesů mají charakter normálních provozních režimů. V případě, kdy je událost iniciována na plném výkonu (resp. zvýšeném o neurčitosti), jsou regulační ventily již téměř naplno otevřeny, takže jejich plné otevření nevede k velkému nárůstu výkonu reaktoru.

Vzhledem k tomu, že v bezpečnostní analýze není uvažována činnost regulátoru výkonu reaktoru a na druhé straně se neočekává nárůst výkonu až na úroveň zformování signálu RTS od výkonu, lze očekávat samovolnou stabilizaci výkonu reaktoru na nové výkonové hladině.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Pro tuto událost nejsou prováděny vlastní výpočty, ale kontrola splnění kritérií přijatelnosti je provedena na základě porovnání s případem, který je charakterem podobný, avšak jeho následky jsou stejné anebo nepříznivější.

Existují výsledky analýzy, která byla provedena při konzervativním zvýšení průtočného průřezu ventilu TG o 10 % (tedy i hltnost turbíny), protože při iniciaci události při zvýšeném výkonu o neurčitosti jsou samotné ventily téměř naplno otevřeny. Za takového předpokladu byly získány konzervativnější výsledky, než při okamžitém zvýšení zatížení o 10 % při jakékoliv výchozí výkonové hladině (od 30 % do 90 % nominální hodnoty).

Po plném otevření regulačních ventilů TG (se zvýšenou hltností) dochází k nárůstu průtoku páry na TG a mírnému poklesu tlaku páry v hlavním parním kolektoru a v PG. Vlivem poklesu tlaku v PG dochází k poklesu teploty primárního chladiva a mírnému nárůstu výkonu reaktoru. Výkon reaktoru je ale ovlivňován (v opačném směru) předpokladem o nedostupnosti elektroohříváků KO (od 0.s procesu). V důsledku nečinnosti elektroohříváků dochází k pomalému poklesu primárního tlaku a působením zpětných vazeb reaktivity i k nepatrnému poklesu výkonu reaktoru. Výkon reaktoru po dosažení svého maxima začíná vlivem pokračujícího poklesu primárního tlaku také klesat.

Nárůst výkonu reaktoru je malý, v krajním případě odpovídá zvýšenému odběru páry, a tomu pak odpovídá i nepatrný pokles minima DNBR. K případnému dalšímu nepatrnému poklesu DNBR i při klesajícím výkonu může docházet při nepřetržitě klesajícím primárním tlaku, jehož vliv může převažovat nad klesajícím výkonem reaktoru.

Ze vzájemného porovnání s výsledky pro výpadek vysokotlakého regeneračního ohříváku vyplynulo, že tento výpadek vedl k nepříznivějším důsledkům než zvýšení průtoku páry na turbíny. Z hlediska minima DNBR i maxima tlaku v I.O je pro všechny události 15.1.1 až 15.1.4 rozhodující dosažené maximum výkonu reaktoru v průběhu procesu. Toto maximum v případě modelování největšího zvýšení odvodu tepla sekundárním okruhem otevřením všech PSK dosahuje hodnot větších než 112 % nominální hodnoty. I za těchto podmínek jsou však sledovaná kritéria přijatelnosti splněna, proto budou splněna i pro událost s mírnějším průběhem procesu, která je důsledkem zvýšení odběru páry na turbíny.

15.2.4 Neúmyslné otevření přepouštěcích nebo pojistných ventilů PG

Identifikace příčin a popis události

V systému ostré páry je řada systémů umožňujících přepouštění páry do jiných částí systému, případně její odpouštění do atmosféry. Jsou to především přepouštěcí stanice do kondenzátoru (PSK, 2 u každé turbíny), přepouštěcí stanice do atmosféry (PSA, 1 na turbínu), pojistné ventily PG (PVPG, 3 pro každý PG), redukční stanice 4,4/0,7 MPa

(RS4,4/0,7), redukční stanice na dochlazování (RSD), případně operátorem provedené propojení s vedlejším blokem.

Přepouštěcí a pojistné systémy PSK, PSA a PVPG je možné rozdělit z hlediska jejich ovládání na systémy, u nichž může dojít k falešnému otevření pouze jednoho ventilu/trasy, což jsou PSA a PVPG a systémy, u nichž může dojít k falešnému otevření více ventilů/tras, což je případ PSK (například otevření všech 4 PSK v důsledku chybného signálu od tlaku v hlavním parním kolektoru, kdy také nezapracuje uzavření PSK od poklesu tlaku).

Pro události typu „neúmyslné otevření přepouštěcích nebo pojistných ventilů parogenerátoru“ platí, že výtok média ze sekundárního okruhu (odběr páry) se nachází někde mezi případy prasknutí parních potrubí (velké úniky páry) a případy, které vedou pouze ke zvýšení odběru páry (bez zásahu ochranných systémů). Pro zjištění nejméně příznivých důsledků z hlediska uvažovaných kritérií přijatelnosti byly provedeny následující základní varianty výpočtů:

- plné otevření všech PSK při počátečním výkonu 104 % nom. hodnoty - analýza zaměřená na minimum DNBR (varianta A),
- plné otevření všech PSK při počátečním výkonu 104 % nom. hodnoty - analýza zaměřená na maximum tlaku v I.O (varianta B),
- plné otevření všech PSK při počátečním nulovém výkonu - analýza zaměřená na minimum DNBR/ověření nejméně příznivého případu při provozu s méně než 6 HCČ (varianta C).

Varianty dalších výpočtů byly provedeny pro ověření konzervativnosti některých vstupních parametrů a předpokladů analýz.

Zaměření všech těchto variant na otevření všech PSK jako nejnepříznivější události ze skupiny neúmyslného otevření pojistných nebo přepouštěcích ventilů PG je podpořeno výsledky dříve provedených analýz.

Průběh události a činnost systémů

Otevření všech PSK vede k poklesu tlaku v sekundárním okruhu. Snížení tlaku může být zpomalováno zvýšením výkonu reaktoru v důsledku většího vychlazování s následným větším předáváním tepla do II.O k větší produkci páry v parogenerátorech. Zvyšuje se také průtok napájecí vody doplňované do PG. Při silném vychlazování (pokles primárního tlaku a hladiny v KO) může vzniknout od těchto parametrů signál na odstavení reaktoru nebo signál „malý únik“. V případě většího nárůstu výkonu (110 %) bude zformován signál na rychlé odstavení reaktoru.

Dalším potenciálním signálem RTS je pokles tlaku v hlavním parním kolektoru s následnou aktivací signálu ESFAS. Další snížení tlaku v polokolektorech hlavního parního kolektoru může vést ke zformování signálů ESFAS s následnou izolaci příslušných PG, odstavením příslušných HCČ a startem vysokotlakých havarijních čerpadel. Doplňování od těchto čerpadel, snížení průtoku chladiva reaktorem a zmenšení odvodu tepla sekundárním okruhem povedou ke zvýšení objemu chladiva v primárním okruhu, což se projeví růstem primárního tlaku a hladiny v kompenzátoru objemu a může vést k otevření ventilu na trase z KO do barbotážní nádrže, což přispěje k vychlazování I.O a následnému snížení tlaku v II.O.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Událost je modelována jako otevření všech PSK, přičemž dochází k rychlému odstavení reaktoru od převýšení neutronového výkonu jak u varianty s minimalizací DNBR, tak u varianty s maximalizací tlaku v I.O. Analýza zaměřená na minimum DNBR při nulovém výkonu byla provedena při 6 smyčkách v provozu a bylo ukázáno, že dosažené minimum DNBR je výrazně vyšší, než při události iniciované při plném počtu pracujících smyček a plném výkonu.

Průběh události lze znázornit časovým průběhem minima DNBR na obr. 15.5, maxima tlaku v I.O na obr. 15.6 a maxima teploty paliva na obr. 15.7.

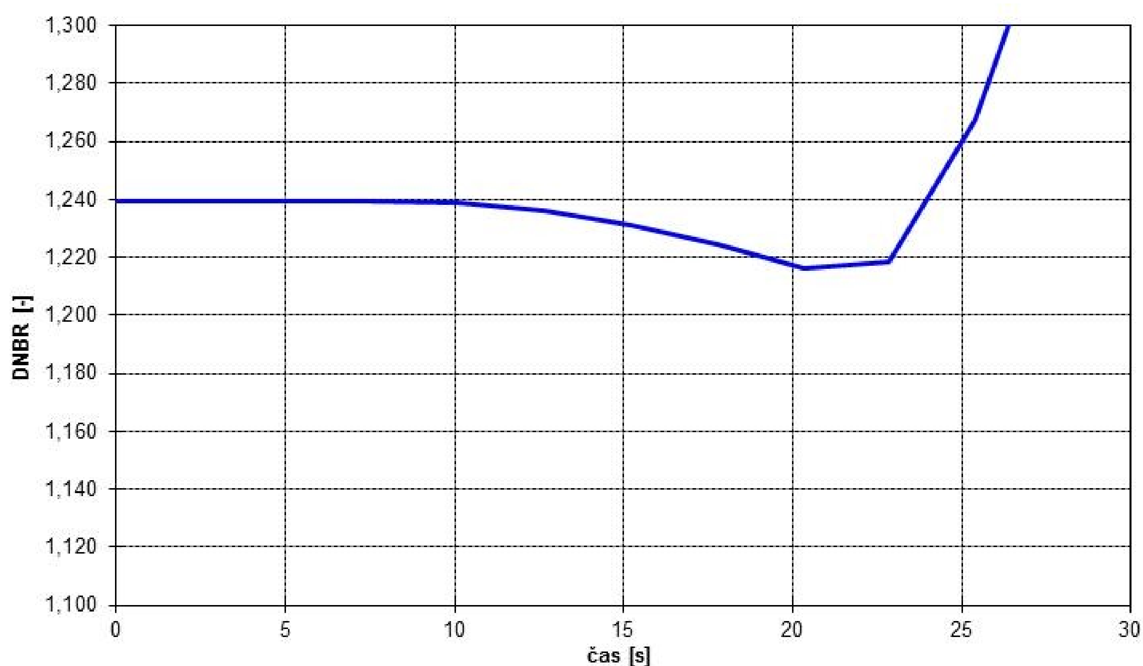
Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,216** dosažené v čase 20,6 s od vzniku události (varianta A) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

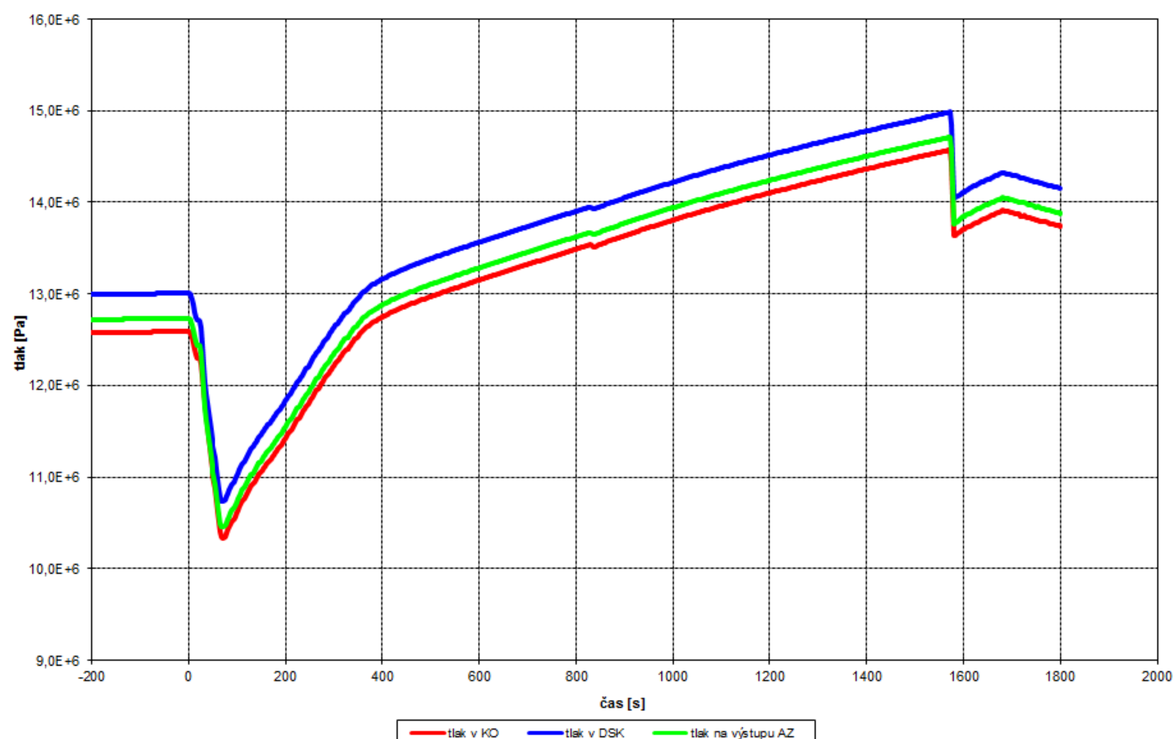
Maximum tlaku **15,01 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 1573 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **5,84 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 1264 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

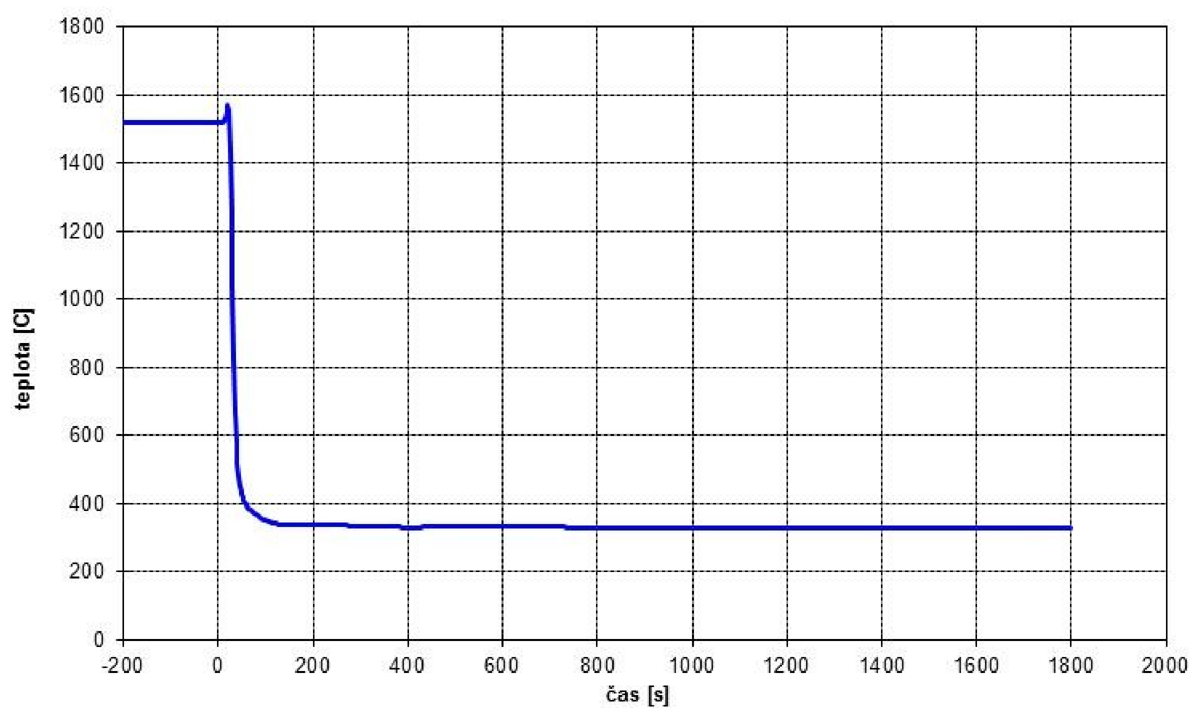
Maximum teploty paliva **1569 °C** dosažené v čase 20,6 s od vzniku události (varianta A) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.



Obr. 15.5: Neřízené otevření všech PSK (minimalizace DNBR): Minimum DNBR - detail



Obr. 15.6: Neřízené otevření všech PSK (maximalizace tlaku v I.O): Primární tlak



Obr. 15.7: Neřízené otevření všech PSK (minimalizace DNBR): Maximální teplota paliva

Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje výsledky analýzy neúmyslného otevření PSK na prvním polokolektoru hlavního parního kolektoru pro nominální výkonovou hladinu 1485 MW. Kontrolovaná kritéria přijatelnosti v rozsahu jako výše byla taktéž splněna.

Z výsledků prezentované termohydraulické analýzy (minimalizace DNBR) plyne, že vlivem události nedochází ani k porušení palivových proutků, ani k vypouštění radioaktivního média do okolní atmosféry. Událost tedy nemá žádné radiologické důsledky.

Pro případ, kdy je iniciační událostí neúmyslné otevření PSA nebo PV PG, nebo při odstavení TG při neřízeném plném otevření regulačního ventilu napájecí vody, může docházet sice k vypouštění média do okolní atmosféry, avšak vypouštěná množství jsou podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, pro který byly počítány radiologické důsledky. Protože v žádném případě nedochází vlivem události k porušení palivových proutků, nebudou radiologické důsledky takového vypouštění nepříznivější, než v případě roztržení potrubí na HPK, který je popsán v části 15.1.5.

Celkově lze tedy konstatovat, že sledovaná kritéria byla pro analyzovanou událost splněna. Vzhledem k průběhu procesu lze obdržené výsledky pro teplotu paliva a minimum DNBR považovat spolu s výsledky v části 15.1.5 za obalové pro ostatní případy z kap. 15.1. Analogicky to platí i pro události analyzované z hlediska maxima tlaku v I.O.

15.2.5 Spektrum porušení parovodů uvnitř a vně ochranné obálky

Identifikace příčin a popis události

Při porušení integrity parních potrubí uvnitř případně vně hermetických prostorů dochází ke zvýšení odvodu tepla sekundárním okruhem, a to vede ke snižování teploty primárního chladiva a následně k nárůstu výkonu reaktoru. Zároveň dochází k poklesu hladiny v KO a poklesu primárního tlaku. Přitom může dojít rovněž k poklesu rezervy do krize varu (minima DNBR).

Pokud dojde k iniciaci havarijního vstřikování do primárního okruhu, pak může dojít k zaplnění I.O kapalinou. Zároveň může nastat situace, kdy je ukončen zvýšený odvod tepla sekundárním okruhem (např. díky izolaci úniku) a v I.O začne narůstat teplota. Tyto procesy mohou vést k výraznému nárůstu primárního tlaku.

Při prasknutí parovodu uvnitř nebo vně hermetických prostorů může docházet k úniku mírně radioaktivního média mimo hermetický box, a to jak vlastním únikem (pokud je mimo hermetický prostor), tak při odvodu zbytkového tepla pomocí PSA nebo PVPG. Pokud je iniciační událostí prasknutí parovodu uvnitř hermetických prostorů, pak dojde rovněž k nárůstu parametrů v těchto prostorech.

Pro ověření (resp. dosažení) nejméně příznivých důsledků z hlediska uvažovaných kritérií přijatelnosti byly provedeny následující základní varianty výpočtů:

- roztržení parovodu PG mimo hermetické prostory při výchozím výkonu 104 % nominální hodnoty, s uvažováním ZPRZEN - minimalizace DNBR/varianta A,

- roztržení HPK při výchozím výkonu 104 % nominální hodnoty, bez uvažování ZPRZEN - maximalizace tlaku v I.O/varianta B,

- roztržení propojení PG na HPK při výchozím výkonu 104 % nominální hodnoty, bez uvažování ZPRZEN - maximalizace úniku média do atmosféry/varianta C,

- nejméně příznivý případ roztržení parovodu PG mimo hermetické prostory při nulovém výkonu z hlediska minima DNBR

Na výsledky varianty C navazují analýzy radiologických důsledků.

Průběh události a činnost systémů

Průběh události a činnost systémů lze popsat prostřednictvím limitního případu události se zvýšením odvodu tepla sekundárním okruhem, a to při velkém úniku páry ze systému ostré páry vně hermetického prostoru.

Prasknutí parovodu mimo hermetické prostory vede k poklesu tlaku v sekundárním okruhu. Od poklesu tlaku může dojít k odstavení turbín (jedné příp. obou), což povede ke zmírnění poklesu tlaku v systému ostré páry. Když rozdíl tlaku mezi HPK a příslušným parovodem dosáhne hodnotu nastavení, dojde ke zformování signálu s následným odstavením HCČ v příslušné smyčce a izolaci příslušného PG po napájecí vodě a páře.

V závislosti na místu úniku lze očekávat izolaci úniku buď ze strany PG patřícího poškozenému parovodu nebo ze strany ostatních PG, nebo dojde k úplné izolaci úniku. Rozdělení HPK a také izolace PG v polokolektoru HPK příslušejícího poškozenému parovodu může vést ke zvýšení tlaku v nepostižené části systému ostré páry na hodnotu otevření PSK (příp. PSA), které zajistí odvod tepla z I.O.

Na primární straně způsobí silné vychlazování na začátku nehody růst výkonu reaktoru. V případě zvýšení výkonu nad 110 % nominální hodnoty bude zformován signál na rychlé odstavení reaktoru. Dalším možným signálem na odstavení reaktoru je signál od poklesu hladiny v KO a tlaku chladiva v případě silnějšího vychlazování primárního okruhu. Může také dojít ke zformování signálu s následným startem vysokotlakých čerpadel.

<u>Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti</u>

V souladu s příslušnou variantou je událost modelována jako prasknutí parovodu o průměru 2x429 mm (varianta A), roztržení HPK (varianta B), roztržení propojení parovodu PG na HPK s velikostí úniku 2x489 mm (varianta C). U všech tří variant se konzervativně neuvažuje působení prvního signálu RTS, reaktor je odstavován od 2. signálu od převýšení výkonu reaktoru.

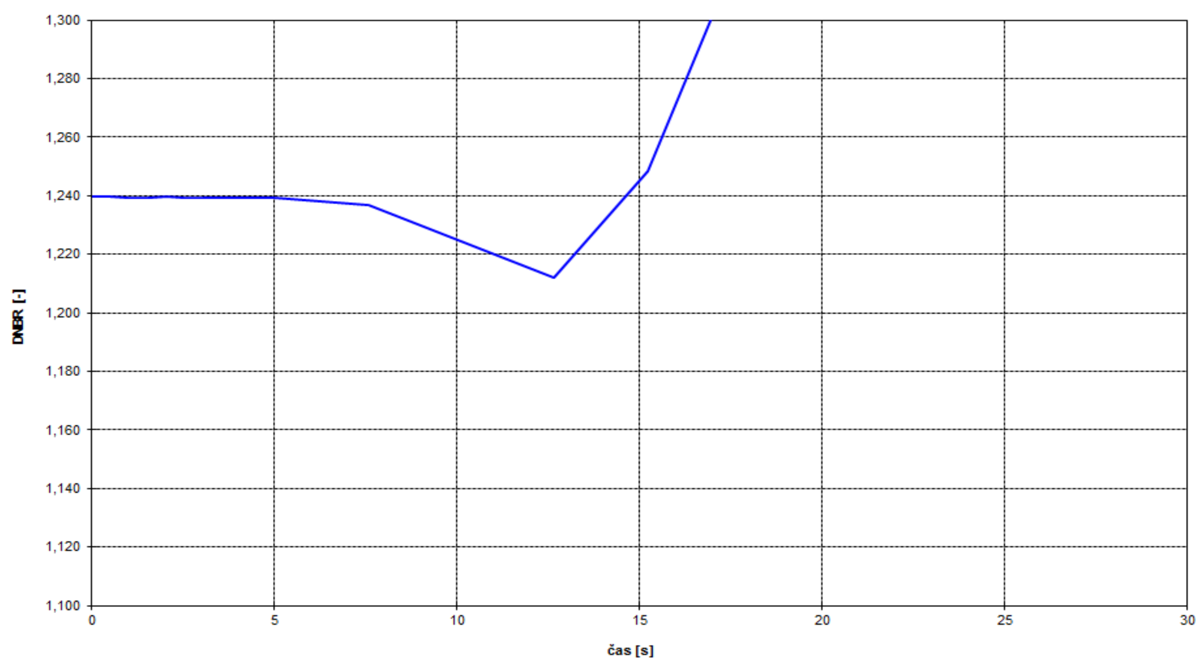
Průběh události lze znázornit pro variantu A časovým průběhem minima DNBR na obr. 15.8 a maxima teploty paliva na obr. 15.9, a pro variantu B časovým průběhem maxima tlaku v I.O na obr. 15.10.

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

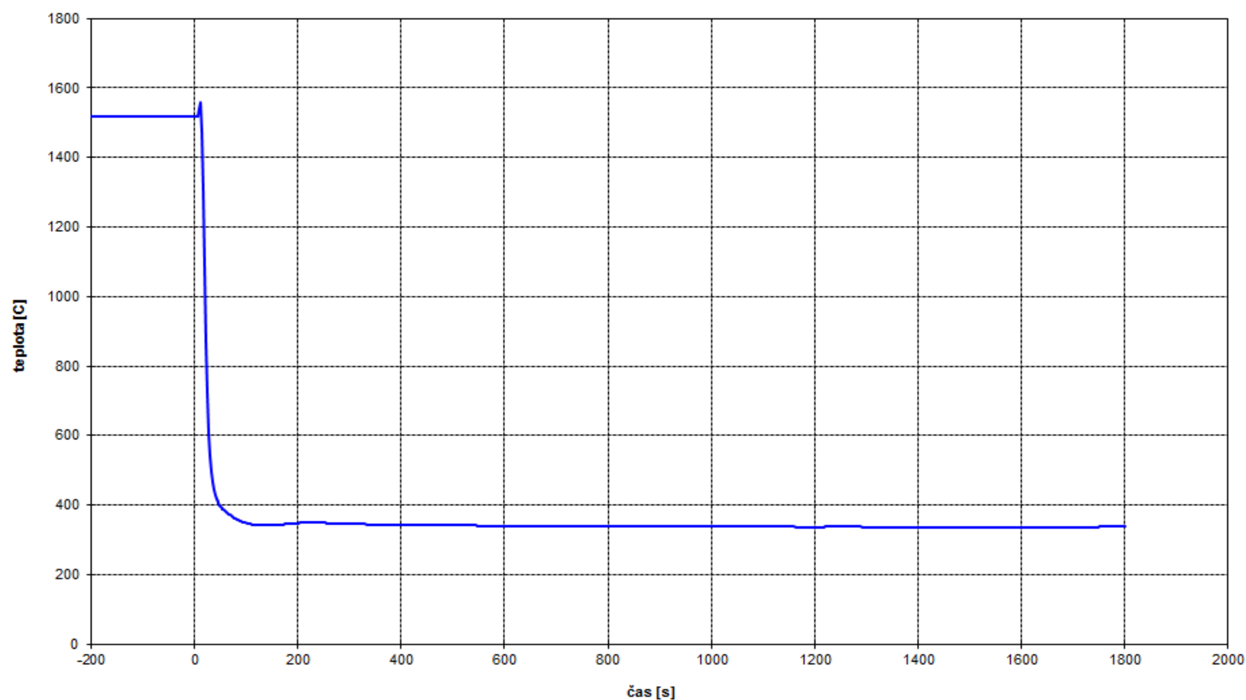
Minimum DNBR **1,211** dosažené v čase 12,7 s od vzniku události (varianta A) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **15,01 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 788 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno. Z hlediska tlaku v II.O není tato událost limitující, toto kritérium není sledováno.

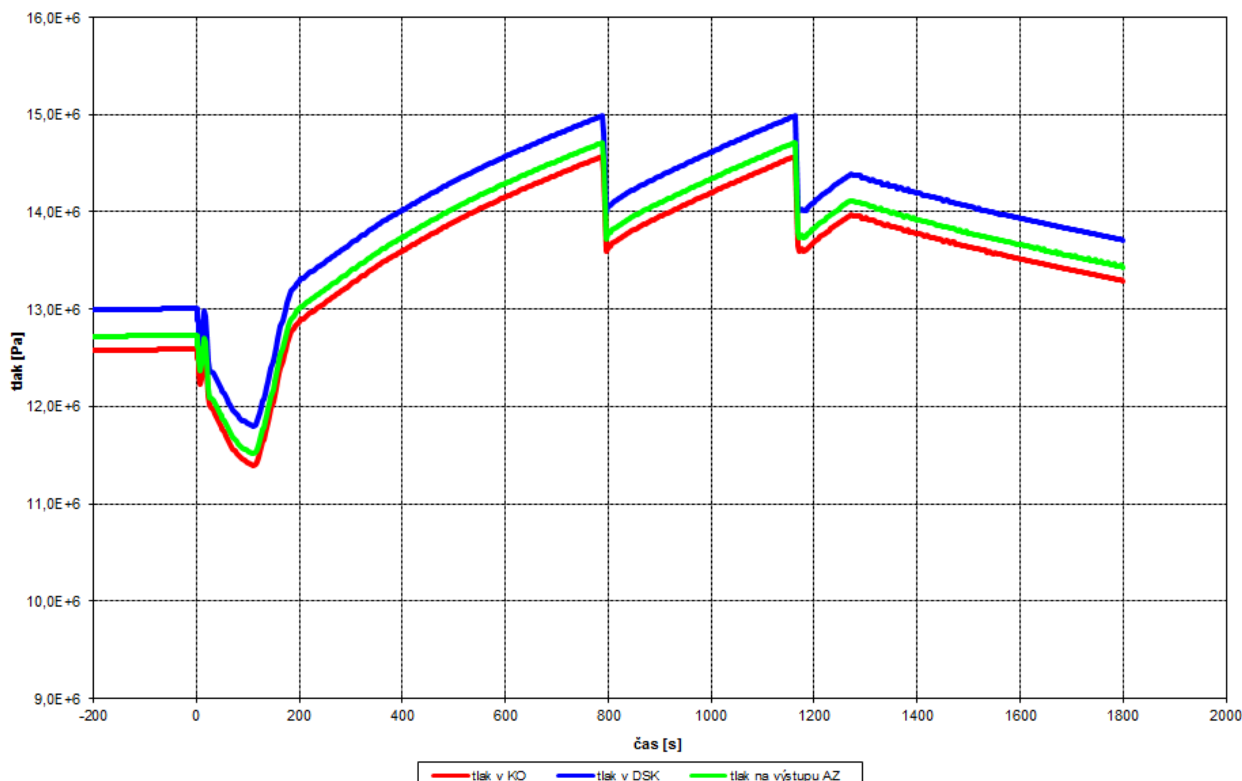
Maximum teploty paliva **1560 °C** dosažené v čase 12,7 s od vzniku události (varianta A) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.



Obr. 15.8: Roztržení parovodu mimo hermetických prostor se ZPRZEN (minimalizace DNBR): DNBR - detail



Obr. 15.9: Roztržení parovodu mimo hermetických prostor se ZPRZEN (minimalizace DNBR): Maximální teplota paliva



Obr. 15.10: Roztržení HPK bez ZPRZEN (maximalizace tlaku): Primární tlak

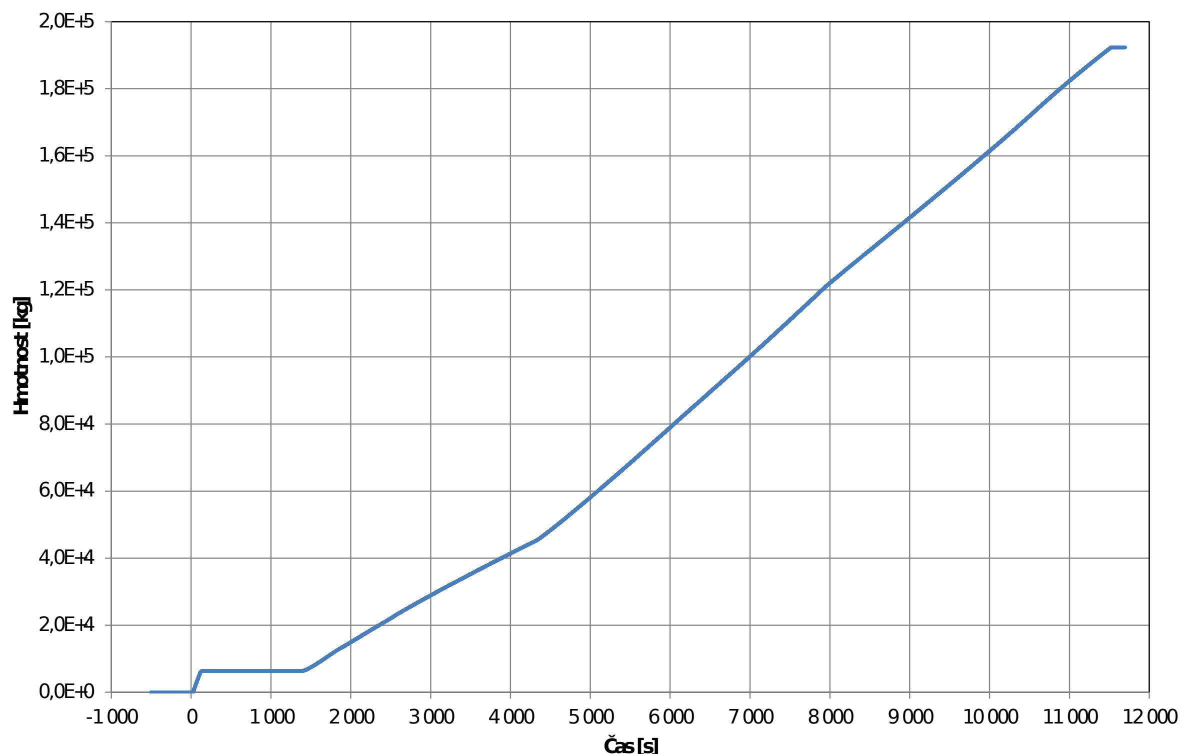
Splnění kritéria nedosažení krize varu bylo ověřováno také pro nulový počáteční výkon. Jako nejméně příznivý případ byl identifikován nulový výkon při provozu 5 HCČ (při volbě parametrů konzervativních z hlediska minima DNBR), nepatrně nižší hodnota minima DNBR byla dosažena v případě nulového výkonu a 3 HCČ s výběrem parametrů konzervativních z hlediska teploty sekundární kritičnosti. V obou případech se však jednalo o hodnotu podstatně vyšší, než je dosahována v případech plného počátečního výkonu při 6 pracujících HCČ.

Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje výsledky analýzy roztržení parovodu pro nominální výkonovou hladinu 1485 MW. Analýza byla zaměřena na plnění kritérií pro havarijní podmínky bez ohledu na to, že je splněno i kritérium pro nedosažení krize varu. Všechna sledovaná kritéria pro havarijní podmínky byla s velkou rezervou splněna. Dodavatel paliva se nezabývá analýzami radiologických důsledků.

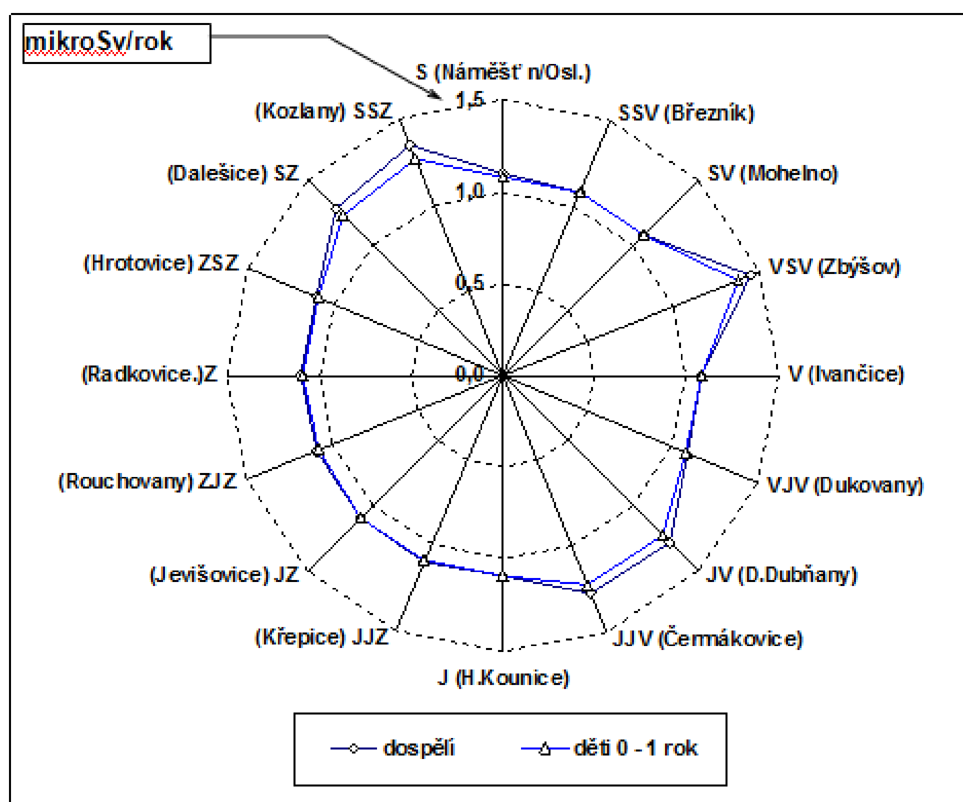
Souhrnně lze konstatovat, že všechna sledovaná termohydraulická kritéria byla pro analyzované spektrum událostí splněna. Ze získaných výsledků tak vyplynulo, že v žádném z analyzovaných případů nedochází k porušení palivových proutků. Pak při porušení parovodů může docházet pouze k úniku aktivity, která se nachází za normálního provozu v primárním a sekundárním okruhu. K úniku sekundárního média může docházet roztrženým parním potrubím a v případě nedostupnosti PSK přepouštěním do atmosféry přes PSA při dochlazování. Primární chladivo může unikat na sekundární stranu netěsnostmi PG.

Při úniku aktivity do okolí JE se konzervativně uvažoval oboustranný výtok média z porušeného potrubí, únik média přes PV PG resp. PSA z neporušených parogenerátorů až do okamžiku přechodu na dochlazování pomocí systému odvodu zbytkového tepla, maximální hodnota počáteční aktivity II.O vypočtená z limitních hodnot aktivity I.O a maximálních průsaků v PG, výchozí konzervativní aktivita chladiva I.O, uvážení jódové špičky vyvolané nehodou pro aktivitu I.O (aktivita jódů zvýšena 60 krát), uvážení zvýšené aktivity vzácných plynů faktorem 10, maximální průnik média z I.O do II.O podle výsledku termohydraulických analýz.

Integrál úniku média do atmosféry je znázorněn na obr. 15.11, efektivní dávky pro nejnepříznivější variantu v jednotlivých směrech od zdroje ukazuje obr. 15.12.



Obr. 15.11: Roztržení propojení parovodu PG na HPK (max. úniku média do atmosféry): Integrál výtoku do atmosféry přes PSA



Obr. 15.12: Roztržení propojení parovodu PG na HPK (max. úniku média do atmosféry): Znázornění efektivních dávek za 1 rok pro povětrnostní kategorii D při srážkách 10 mm/h ve vzdálenosti 3000 m od zdroje

Maximální hodnota efektivní dávky na celé tělo **< 0,25 mSv/rok** vně ochranného pásma je mnohem nižší než limit **1 mSv/rok** (ZBL) a dokonce nižší než **250 mikroSv/rok** (ZBC), kritérium přijatelnosti je tedy splněno.

Souhrnně lze konstatovat, že pro tuto událost jsou všechna sledovaná kritéria přijatelnosti splněna.

15.3 Snížení odvodu tepla sekundárním okruhem

Události, které vedou ke snížení odvodu tepla sekundárním okruhem, jsou rozděleny do následujících skupin:

15.2.1 Chybná funkce regulátoru tlaku páry nebo porucha vedoucí ke snížení průtoku páry
15.2.2 Ztráta vnějšího elektrického zatížení
15.2.3 Výpadek turbíny
15.2.4 Neřízené uzavření oddělovacích armatur na hlavních parovodech
15.2.5 Ztráta vakua v kondenzátoru
15.2.6 Ztráta pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení
15.2.7 Ztráta normálního napájení parogenerátoru vodou
15.2.8 Prasknutí potrubí napájecí vody

Při analýzách událostí výše uvedených skupin se obvykle požívají následující kritéria přijatelnosti: nedosažení krizových podmínek přestupu tepla na vnějším povrchu žádného palivového proutku a nepřekročení dovolených hodnot tlaků v primárním a sekundárním okruhu během celého procesu. Analýza provedených výpočtů ukázala, že z celé skupiny iniciačních událostí je možné vyčlenit určující události z hlediska výše jmenovaných kritérií přijatelnosti a na základě výsledků výpočtů těchto rozhodujících událostí prokázat bezpečnost provozu s použitím konzervativně zobecněných charakteristik systémů a součástí reaktorového zařízení.

U podskupin, kde mohou být příčiny poruchy různé a důsledky nelze předem ocenit (vyhodnotit), byly provedeny analýzy více případů, případně varianty s odlišnými předpoklady pro příslušné kritérium přijatelnosti. Zde jsou pak vybrány případy s nejméně příznivými výsledky z hlediska příslušného kritéria přijatelnosti. V závěrech jsou shrnuty klíčové výsledky ze všech provedených analýz.

15.3.1 Chybná funkce regulátoru tlaku páry nebo porucha vedoucí ke snížení průtoku páry

Identifikace příčin a popis události

Iniciační událostí může být porucha v systému regulace turbín, která má za následek snížení odběru páry. Průběh události je podobný jako v případě výpadku turbín, avšak méně závažný, protože rychlost změny parametrů, která může být způsobena poruchou regulátoru, je menší než v případě výpadku turbín.

Průběh události a činnost systémů

Při snížení odběru páry dojde k růstu tlaku v sekundárním okruhu. Pokud je regulátor výkonu reaktoru v jiném režimu než v režimu udržování tlaku v HPK, přepne se do tohoto režimu a sníží výkon na úroveň odpovídající sníženému odběru páry. Pokud nedojde ke snížení tlaku páry (například regulátor není zapojen v automatickém režimu), může být tlak snížen pomocí přepouštěcích stanic páry do kondenzátoru případně do atmosféry. Pokud by došlo k selhání těchto zařízení, bude tlak páry udržován pomocí pojistných ventilů parogenerátorů. Při překročení úrovně nastavení by vznikl signál na rychlé odstavení reaktoru. Dalšími signály RTS, aktuálními pro tuto událost, mohou být

signály od vysokého tlaku v I.O, nebo od vysoké teploty v I.O, případně při větším snížení výkonu signály od nízkého primárního tlaku a hladiny v KO.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Pro tuto událost nejsou prováděny vlastní výpočty, ale kontrola splnění kritérií přijatelnosti je provedena na základě porovnání s případem, který je charakterem podobný, avšak jeho následky jsou stejné anebo nepříznivější.

a) Z hlediska minima DNBR platí, že případ výpadku turbín vede ke stejným nebo méně příznivým výsledkům než případ chybné funkce regulátoru tlaku páry nebo poruchy vedoucí ke snížení průtoku páry, protože při výpadku turbín dochází k úplnému omezení odvodu páry na turbíny stejně jako v nejnepříznivějším možném případě chybné funkce regulátoru tlaku páry nebo poruchy vedoucí ke snížení průtoku páry. Plyne z toho, že prokázáním splnění kritéria přijatelnosti nedosažení krize varu pro případ výpadku turbín je prokázáno splnění tohoto kritéria i pro případ chybné funkce regulátoru tlaku páry nebo poruchy vedoucí ke snížení průtoku páry.

b) Z hlediska maxima tlaku v I.O platí, že případ chybné funkce regulátoru tlaku páry nebo poruchy vedoucí ke snížení průtoku páry je méně závažný než případ výpadku turbín, protože v případě chybné funkce regulátoru tlaku páry nebo poruchy vedoucí ke snížení průtoku páry se jedná o menší rychlost snížení odvodu páry. Proto platí, pokud je splnění kritéria přijatelnosti nepřekročení tlaku v I.O prokázáno pro případ výpadku turbín, je prokázáno splnění tohoto kritéria i pro případ chybné funkce regulátoru tlaku páry nebo poruchy vedoucí ke snížení průtoku páry. Toto zdůvodnění platí i pro tlak v II.O.

c) Z hlediska maximální teploty paliva platí, že při událostech se snížením odvodu tepla sekundárním okruhem nedochází k nárůstu maxima teploty paliva oproti výchozímu stavu, proto u těchto událostí k porušení kritéria nedosažení teploty tavení paliva nemůže dojít.

Souhrnně lze konstatovat, že důsledky (včetně radiologických) případu chybné funkce regulátoru tlaku páry nebo poruchy vedoucí ke snížení průtoku páry nebudou nepříznivější než důsledky v případě výpadku turbín (část 15.2.3).

15.3.2 Ztráta vnějšího elektrického zatížení

Identifikace příčin a popis události

Iniciační událostí je náhlá ztráta vnějšího elektrického zatížení. Příčinou může být porucha elektrických systémů nebo porucha v rozvodné síti mimo vlastní elektrárnu.

Průběh události a činnost systémů

Při ztrátě vnějšího zatížení se rychle uzavřou regulační ventily turbín. Náhlé snížení odvodu páry vede ke zvýšení tlaku v sekundárním systému, který může být snižován krátkodobým otevřením PSK, dále otevřením PSA. Od zvýšení tlaku v HPK vznikají signály na přepnutí regulátoru výkonu reaktoru do režimu udržování tlaku v HPK. Při selhání těchto systémů by došlo k rychlému odstavení reaktoru od vysokého tlaku v hlavním parním kolektoru a tlak páry v sekundárním okruhu by byl udržován pomocí pojistných ventilů parogenerátorů. Dalšími signály RTS aktuálními pro tuto událost mohou být signály od vysokého tlaku v I.O nebo od vysoké teploty v I.O, případně při větším snížení výkonu signály od nízkého primárního tlaku a hladiny v KO.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Pro tuto událost nejsou prováděny vlastní výpočty, ale kontrola splnění kritérií přijatelnosti je provedena na základě porovnání s případem, který je charakterem podobný, avšak jeho následky jsou stejné anebo nepříznivější.

Nejnepříznivější případ ztráty vnějšího elektrického zatížení nastane v situaci, kdy není úspěšný přechod turbogenerátorů na výkon vlastní spotřeby. V takovém případě zůstanou ventily turbín trvale uzavřeny a odběr páry turbínami nebude obnoven ani v omezeném rozsahu. Potom událost odpovídá případu výpadku turbíny.

Dále může být situace ztížena ztrátou pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení (ZPRZEN), takže dojde k výpadku některých systémů, z nichž nejvýznamnější jsou hlavní cirkulační čerpadla a elektrická napájecí čerpadla. Všechny tyto okolnosti zhoršující průběh události jsou zahrnuty ve výchozích předpokladech analýzy ztráty pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení, takže výsledky takové analýzy platí v tomto případě i pro ztrátu vnějšího elektrického zatížení.

a) Z hlediska minima DNBR platí, že snížení odvodu páry do sekundárního okruhu vede případ výpadku turbín ke stejným nebo méně příznivým výsledkům než případ ztráty elektrického zatížení, protože při výpadku turbín dochází k úplnému omezení odvodu páry na turbíny stejně jako v nejnepříznivějším možném případě ztráty vnějšího elektrického zatížení. Z uvedené skutečnosti plyne, že prokázáním splnění kritéria přijatelnosti nedosažení krize varu pro případ výpadku turbín i pro případ ztráty pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení je prokázáno splnění tohoto kritéria i pro případ ztráty vnějšího elektrického zatížení.

b) Z hlediska maxima tlaku v I.O platí, že případ ztráty vnějšího elektrického zatížení je méně závažný než případ výpadku turbíny, protože v případě ztráty vnějšího elektrického zatížení se jedná o menší rychlost snížení odvodu páry (rozdíl však není významný). Z uvedené skutečnosti plyne, že prokázáním splnění kritéria přijatelnosti nepřekročení tlaku v I.O pro případ výpadku turbín i pro případ ztráty pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení je prokázáno splnění tohoto kritéria i pro případ ztráty vnějšího elektrického zatížení.

c) Z hlediska maximální teploty paliva platí, že při událostech se snížením odvodu tepla sekundárním okruhem nedochází k nárůstu maxima teploty paliva oproti výchozímu stavu, proto u těchto událostí k porušení kritéria nedosažení teploty tavení paliva nemůže dojít.

Souhrnně lze konstatovat, že důsledky (včetně radiologických) případu ztráty vnějšího elektrického zatížení nebudou nepříznivější než důsledky v případě výpadku turbín (část 15.2.3) a/nebo v případě ztráty pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení (část 15.2.6).

15.3.3 Výpadek turbíny

Identifikace příčin a popis události

Iniciační událostí je výpadek turbíny, přičemž nejrychlejšího snížení odběru páry je dosaženo uzavřením rychlozávěrného ventilu (RZV), ke kterému může dojít v důsledku selhání technologických nebo řídicích systémů, nebo následkem poruch vnější sítě (ztráta vnějšího elektrického zatížení a nezregulování na úroveň vlastní spotřeby). Důsledkem takového odpojení turbogenerátoru od sítě je snížení odvodu tepla sekundárním okruhem, které vede k růstu teploty a tlaku v primárním okruhu.

Uzavření rychlozávěrných ventilů znamená náhlé snížení odvodu páry. Toto náhlé snížení odvodu páry vede ke zvýšení tlaku v sekundárním okruhu. Při selhání řídicích systémů by došlo k rychlému odstavení reaktoru od vysokého tlaku páry případně od jiného technologického parametru a tlak páry v sekundárním okruhu by byl udržován pomocí pojistných ventilů parogenerátorů.

Pro tuto událost jsou kontrolována pro zjištění (resp. dosažení) nejméně příznivých důsledků z hlediska uvažovaných kritérií přijatelnosti byly uváženy následující základní varianty:

- uzavření RZV obou TG při provozu 6 smyček - minimalizace DNBR (varianta A),
- uzavření RZV obou TG při provozu 6 smyček - maximalizace tlaku v I.O (varianta B),
- uzavření RZV obou TG při provozu 6 smyček - maximalizace tlaku v II.O (varianta C),

přičemž dalšími dílčími variantami byla ověřována konzervativnost některých výchozích předpokladů. Současný výpadek obou turbín při provozu na plném výkonu lze

považovat za nejnepříznivější případ. Při nižších výkonových hladinách dojde k menší redukci odvodu tepla sekundárním okruhem a současně je k dispozici RTS od vysoké teploty chladiva.

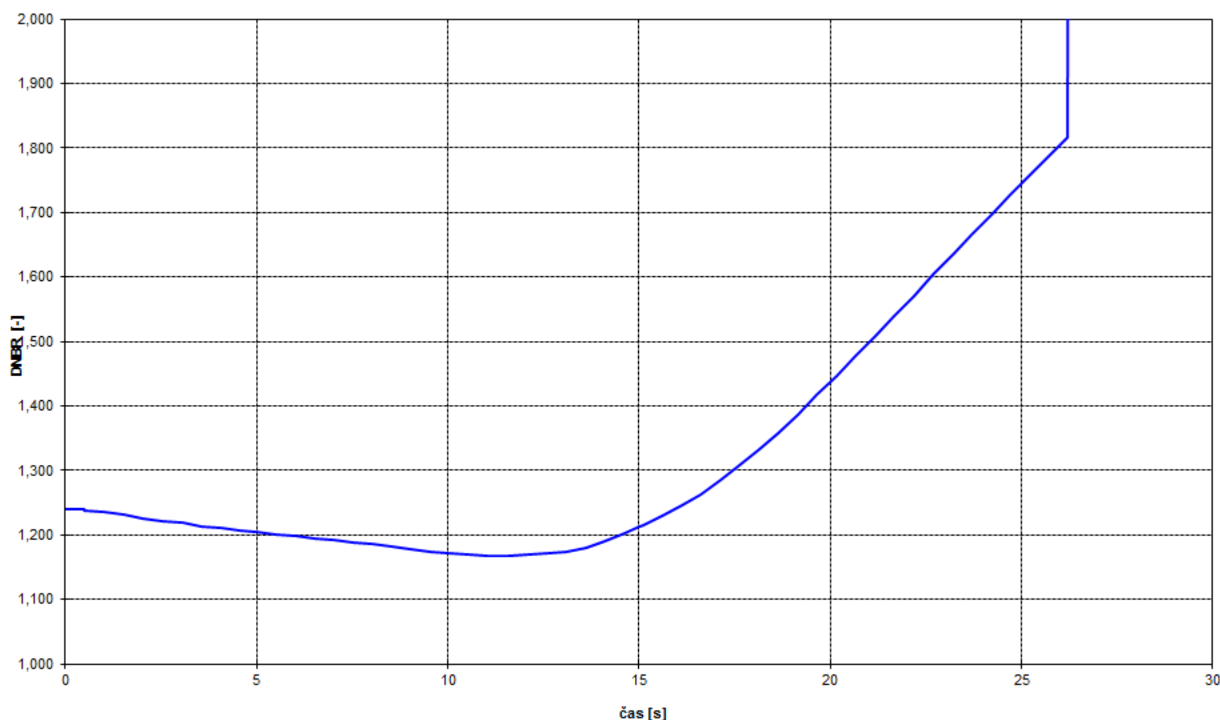
Průběh události a činnost systémů

Pokud dojde k uzavření RZV obou turbín, otevírají obě přepouštěcí stanice páry do kondenzátoru působením D-signálu, jehož velikost je určena výkonem turbíny před uzavřením RZV. Pokud otevření přepouštěcích stanic páry do kondenzátoru nepostačuje, mohou zapůsobit i přepouštěcí stanice páry do atmosféry. Zvýšení tlaku v sekundárním okruhu může vést k přepnutí regulátoru výkonu reaktoru do režimu regulace tlaku v HPK (pokud regulátor v tomto režimu již nepracuje) a v tomto režimu bude regulátor snižovat výkon.

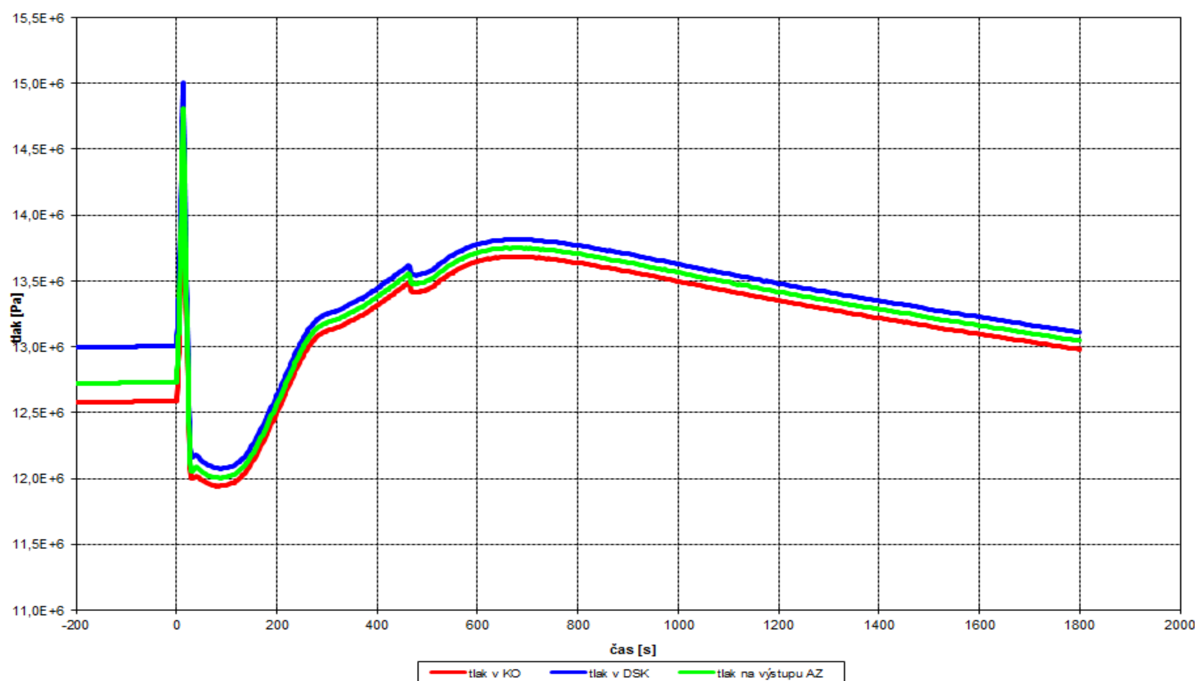
Pokud zapůsobení regulátoru výkonu reaktoru a přepouštěcích stanic páry nebude dostačující, nebo dojde k jejich selhání, mohou se otevřít pojistné ventily PG a dojde k rychlému odstavení reaktoru od příslušných signálů RTS (od vysokého tlaku páry v HPK, od vysoké teploty chladiva, od poklesu hladiny v PG, od vysokého tlaku na výstupu z reaktoru, případně dalších).

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

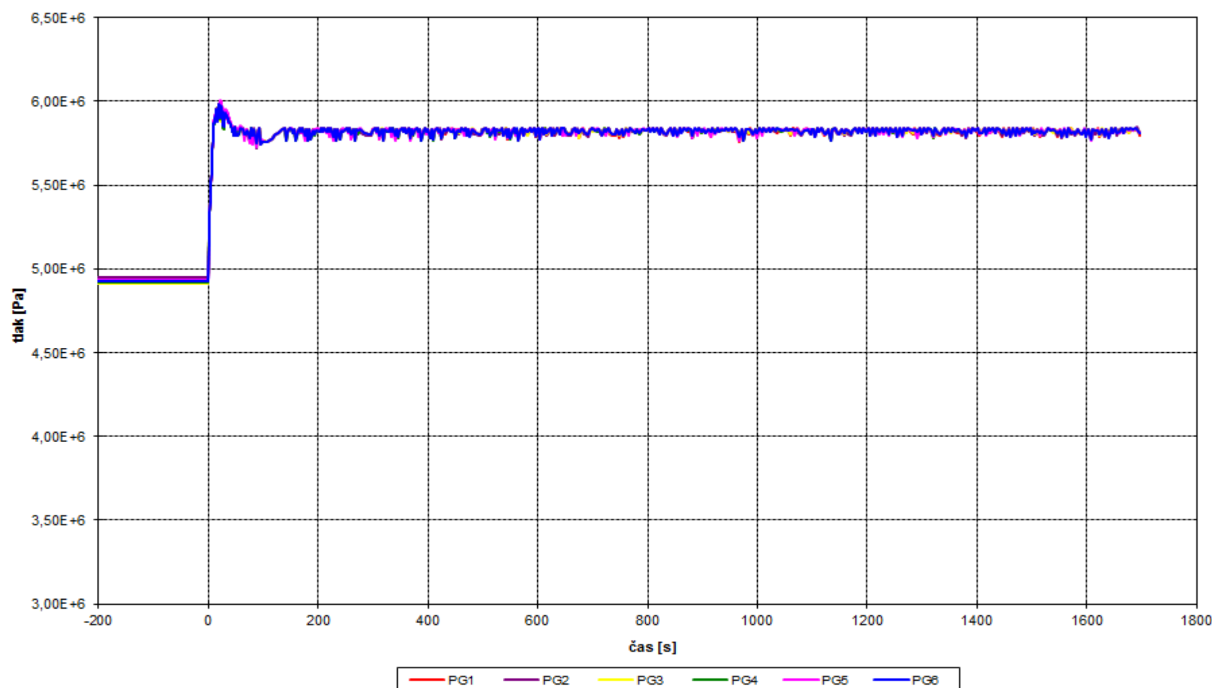
Pro všechny 3 varianty je událost modelována jako uzavření RZV obou TG při provozu 6 smyček. U všech tří variant také dochází k rychlému odstavení reaktoru od stejného nastavení tlaku v HPK. Průběh události lze znázornit pro variantu A časovým průběhem minima DNBR na obr. 15.13, pro variantu B časovým průběhem maxima tlaku v I.O na obr. 15.14 a pro variantu C časovým průběhem tlaků v PG na obr. 15.15.



Obr. 15.13: Výpadek turbín při provozu 6 smyček (minimalizace DNBR): Minimum DNBR - detail



Obr. 15.14: Výpadek turbín při provozu 6 smyček (maximalizace tlaku v I.O): Primární tlak



Obr. 15.15: Výpadek turbín při provozu 6 smyček (maximalizace tlaku v II.O): Tlaky v PG

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,167** dosažené v čase 11,5 s od vzniku události (varianta A) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **15,02 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 16 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **6,02 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 22 s od vzniku události (varianta C) je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva **1520 °C** dosažené v čase 0 s od vzniku události (všechny varianty) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje výsledky analýzy výpadku turbín pro nominální výkonovou hladinu 1485 MW a prokazuje splnění všech sledovaných kritérií přijatelnosti.

Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že vlivem události nedochází k porušení palivových proutků, Množství případně vypouštěného média do okolní atmosféry je podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, takže případné radiologické důsledky události výpadku turbín budou méně nepříznivé, než v případě roztržení tohoto potrubí. Jak je doloženo v části 15.1.5, případ roztržení potrubí na HPK splňuje radiologická kritéria pro abnormální provoz.

Celkově lze shrnout, že sledovaná kritéria přijatelnosti pro případ výpadku obou turbín byla splněna.

15.3.4 Neřízené uzavření oddělovacích armatur na hlavních parovodech

Identifikace příčin a popis události

Iniciační událostí může být uzavření hlavního parního uzávěru nebo rychločinné armatury na parovodu vlivem chybné funkce v řídicích systémech anebo chybou obsluhy. Neřízené uzavření oddělovací armatury na parovodu vede k přechodovému procesu podobnému jako událost výpadek turbíny. Při uzavření jedné rychločinné armatury se mohou uplatnit efekty nesymetrického rozložení teploty v aktivní zóně z důvodu snížení odvodu páry ve smyčce s uzavřeným parovodem a zvýšení průtoku páry v ostatních smyčkách.

Každý parovod může být uzavřen buď prostřednictvím hlavního parního uzávěru (HPU) a nebo rychločinné armatury (RČA). Doba uzavírání HPU se liší podle použitého pohonu, jedná se však o řádově delší doby, než je uzavírání RČA. Z tohoto hlediska se jeví jako méně příznivé uvažovat v analýzách neřízené uzavření RČA, které se zavírají rychleji a omezení odvodu tepla do sekundárního okruhu je tedy rychlejší. Dále se HPU a RČA liší také umístěním na parovodech. RČA je blíže k parogenerátoru. To znamená, že po uzavření RČA je k disposici menší parní objem a růst tlaku v parogenerátoru je tedy rychlejší, což znamená rychlejší snižování odvodu tepla do sekundárního okruhu.

Nejméně příznivý případ nastává při maximálním parním výkonu parogenerátorů a při maximální hustotě tepelného toku na povrchu palivových proutků, což odpovídá provozu na nejvyšším povoleném výkonu pro daný režim. Při práci menšího počtu hlavních cirkulačních smyček je maximální přípustný výkon reaktoru nižší než při práci všech smyček, takže je menší množství akumulovaného tepla v palivu. Na druhou stranu je nutno počítat s méně příznivým rozložením výkonu, takže je třeba ověřit i případ s prací menšího počtu smyček. Radiální nerovnoměrnost rozložení výkonu prakticky nemá vliv na dosahované maximum tlaku v I.O, zatímco množství energie akumulované v palivu ano, takže z hlediska maxima tlaku v I.O je jednoznačně nepříznivější provoz na plném výkonu při práci všech smyček.

Pokud je iniciační událostí falešný signál na roztržení HPK, může dojít k uzavření většího počtu RČA na parovodech. I když vznik takové události z důvodu poruchy automatizovaného systému řízení nebo elektrického napájení je prakticky vyloučený, existuje určitá hypotetická možnost iniciace takového signálu např. chybným zásahem operátora. Kromě toho, z dřívějších analýz je zřejmé, že uzavření RČA na 3 parovodech

vede k nejméně příznivým důsledkům jak z hlediska minima DNBR, tak z hlediska maxima tlaku v I.O. Proto byl takový scénář vybrán jako reprezentativní pro ověření uvažovaných kritérií přijatelnosti, přičemž z hlediska jednotlivých konkrétních kritérií byla událost analyzována pro maximální počáteční výkon v následujících variantách:

- falešný signál roztržení HPK (uzavření RČA na třech parovodech, s uvažováním odstavení HCČ) za provozu 6 smyček, analýza zaměřená na minimum DNBR (varianta A),

- uzavření všech šesti RČA na parovodech za provozu 6 smyček, analýza zaměřená na maximum tlaku v I.O (varianta B),

- falešný signál roztržení HPK (uzavření RČA na třech parovodech, bez uvažování odstavení HCČ) za provozu 6 smyček, analýza zaměřená na maximum tlaku v II.O (varianta C).

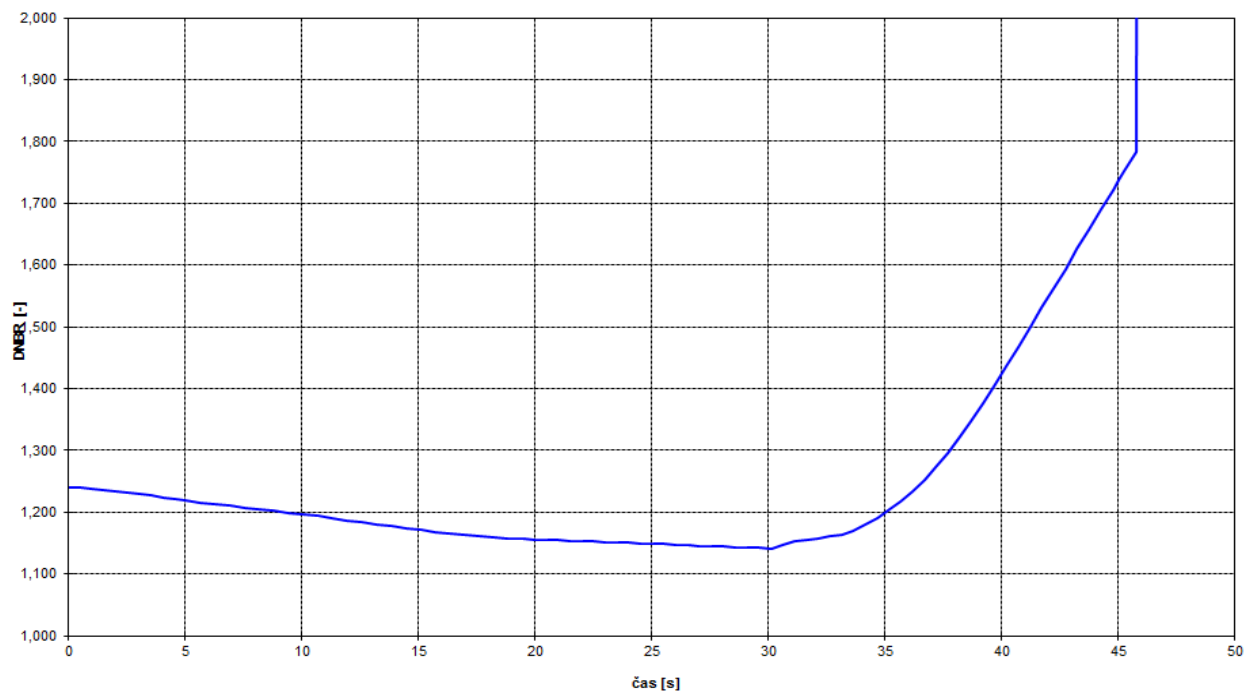
Průběh události a činnost systémů

Pokud dojde k uzavření oddělovací armatury na jednom parovodu, sníží se odvod páry v postiženém PG a v ostatních se může zvýšit. Pára z postiženého PG se bude odvádět přes pojistné ventily, což o něco zhorši odvod tepla přes tento parogenerátor. Při uvažování systémů normálního provozu by došlo k zafungování regulátoru turbíny a regulačního systému reaktoru, které by měly uvést do souladu tlak v II.O a výkon reaktoru, který by se snižoval od zpětných vazeb. Vzhledem k tomu, že změny stavu nejsou velké, nedojde zřejmě vůbec k zapracování bezpečnostních systémů.

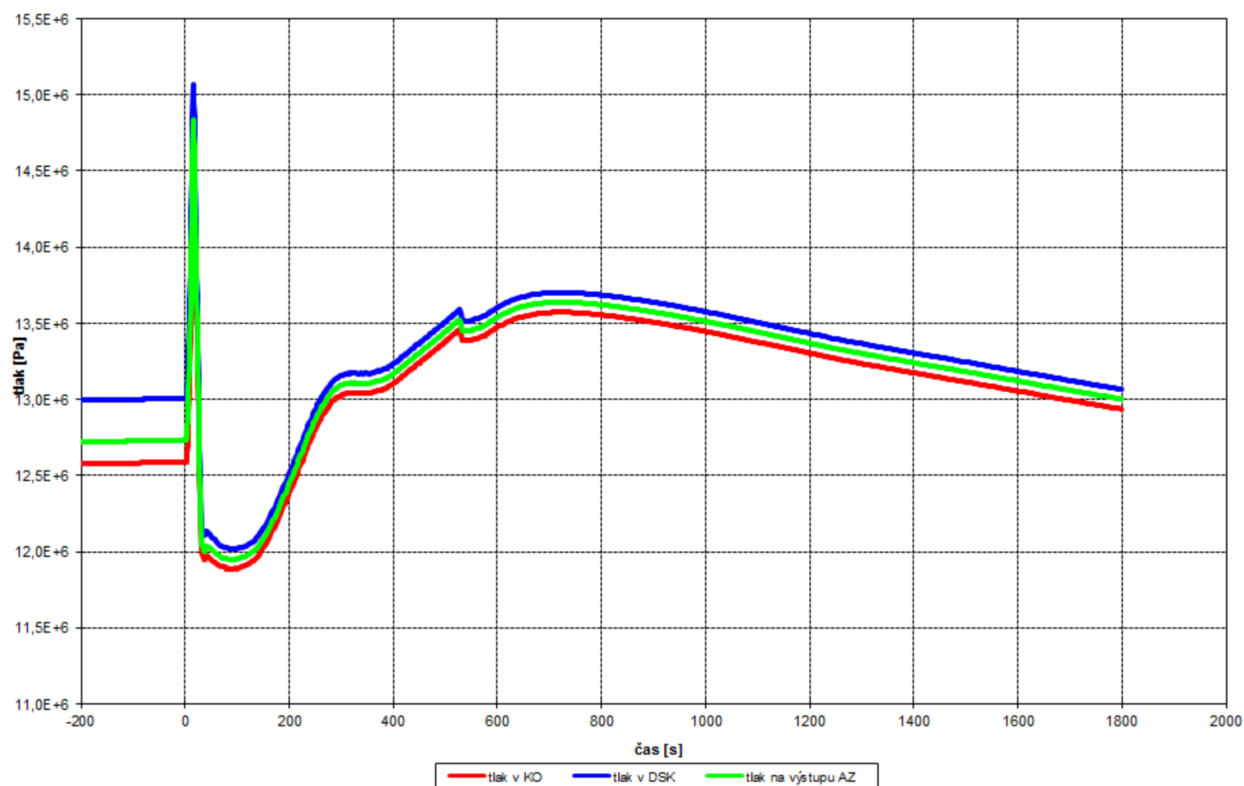
Pokud je iniciační událostí falešný signál roztržení HPK, dochází současně s uzavíráním RČA na třech parovodech také k vypnutí odpovídajících HCČ a startu vysokotlakých čerpadel systému havarijního chlazení aktivní zóny. Uzavření většího počtu RČA od jiných příčin než falešný signál roztržení HPK vede k poklesu tlaku v HPK a ke zformování dalších signálů, od kterých nabíhá vysokotlaké havarijní doplňování chladiva a odstavují se HCČ. U postižených PG bude pára odváděna přes PVPG. Nejpravděpodobnějším signálem RTS v tomto případě je signál od nízkého tlaku v HPK. Událost může vést k dosažení podmínek pro signály RTS od vysokého tlaku v I.O a od vysoké teploty na výstupu reaktoru.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

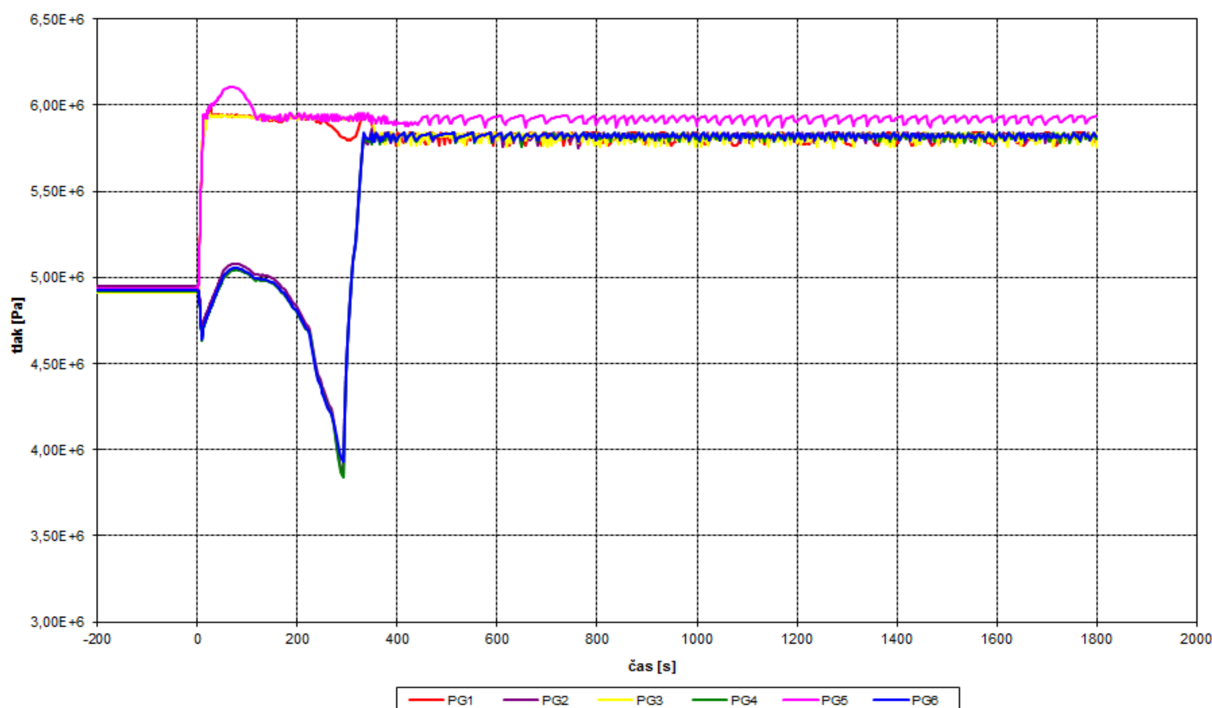
U variant A a C je událost modelována jako falešný signál roztržení HPK, u varianty B jako uzavření všech RČA na hlavních parovodech. U varianty A dochází k rychlému odstavení reaktoru od převýšení teploty chladiva I.O. U varianty B se konzervativně neuvažuje 1. signál RTS, k rychlému odstavení dochází od 2. signálu od poklesu tlaku v HPK. U varianty C není taktéž uvažován 1. signál RTS, k odstavení dochází od 2. signálu od převýšení tlaku v HPK. Průběh události lze znázornit pro variantu A časovým průběhem minima DNBR na obr. 15.16, pro variantu B časovým průběhem maxima tlaku v I.O na obr. 15.17 a pro variantu C časovým průběhem tlaků v PG na obr. 15.18.



Obr. 15.16: Falešný signál roztržení HPK se ZPRZEN (minimalizace DNBR): Minimum DNBR – detail



Obr. 15.17: Uzavření všech RČA na parovodech (maximalizace tlaku v I.O): Primární tlak



Obr. 15.18: Falešný signál roztržení HPK (maximalizace tlaku v II.O): Tlaky v PG

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,141** dosažené v čase 30 s od vzniku události (varianta A) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **15,09 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 16 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **6,12 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 68 s od vzniku události (varianta C) je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva **1758 °C** dosažené v čase 0 s od vzniku události (všechny varianty) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje výsledky analýzy neúmyslného uzavření RČA na smyčce 1 pro nominální výkonovou hladinu 1485 MW při uvažování samostatných variant konzervativních z hlediska minima DNBR i maxima tlaku v I.O a prokazuje splnění všech sledovaných kritérií přijatelnosti.

Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že vlivem události nedochází k porušení palivových proutků, Množství případně vypouštěného média do okolní atmosféry je podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, takže případné radiologické důsledky události výpadku turbín budou méně nepříznivé, než v případě roztržení tohoto potrubí. Jak je doloženo v části 15.1.5, případ roztržení potrubí na HPK splňuje radiologická kritéria pro abnormální provoz.

Celkově lze shrnout, že sledovaná kritéria přijatelnosti pro případy neřízeného uzavření oddělovacích armatur na hlavních parovodech byla splněna.

15.3.5 Ztráta vakua v kondenzátoru

Identifikace příčin a popis události

Iniciační událostí je porušení vakua v kondenzátoru turbíny. Příčinou může být porušení těsnosti kondenzátoru anebo porucha v systému regulace tlaku v kondenzátoru.

Průběh události a činnost systémů

Při porušení vakua v kondenzátoru dojde k odstavení turbíny. Zároveň může být přepouštěcí stanice páry do kondenzátoru blokována. To vede k růstu tlaku v sekundárním okruhu. Pokud je regulátor výkonu reaktoru v jiném režimu než udržování tlaku v HPK, přepne se do tohoto režimu a sníží výkon na úroveň odpovídající sníženému odběru páry. Pokud nedojde ke snížení tlaku páry (například regulace reaktoru není v automatickém režimu), může být tlak snížen pomocí přepouštěcích stanic páry do atmosféry. Pokud by došlo k selhání těchto zařízení, bude tlak udržován pomocí pojistných ventilů parogenerátorů.

Překročí-li tlak v sekundárním okruhu hodnotu nastavení pro signál RTS, dojde k rychlému odstavení reaktoru. Dalšími signály RTS aktuálními pro tuto událost (v případě uvažování pouze bezpečnostních systémů) mohou být signály od vysokého tlaku v I.O. při zvýšení tlaku v I.O, nebo od vysoké teploty v I.O, případně při větším snížení výkonu od nízkého primárního tlaku a hladiny v KO.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Pro tuto událost nejsou prováděny vlastní výpočty, ale kontrola splnění kritérií přijatelnosti je provedena na základě porovnání s případem, který je charakterem podobný, avšak jeho následky jsou stejné anebo nepříznivější. Nejnepříznivější případ nastane při provozu na plném výkonu, kdy od porušení vakua v kondenzátoru dojde k uzavření rychlozávěrných ventilů obou turbín, takže případ odpovídá scénářům, s jakými se počítá v případě výpadku turbíny.

Ztráta vakua v kondenzátoru může mít za následek blokování přepouštěcích stanic páry do kondenzátoru. S touto variantou se počítalo při výběru konzervativního scénáře případu výpadku turbíny. Analyzované varianty ukázaly, že z hlediska minima DNBR vede výpadek turbíny k méně příznivému výsledku, pokud PSK pracují. To znamená, že z hlediska minima DNBR vede výpadek turbíny k méně příznivému výsledku, než ztráta vakua v kondenzátoru.

V analýze výpadku turbíny zaměřené na maximum tlaku se počítalo s nefunkčností PSK, takže odpovídající analýza zahrnovala i scénář, k jakému by mohla vést ztráta vakua v kondenzátoru.

Z uvedeného plyne, že konzervativní scénář pro výpadek turbíny z hlediska jednotlivých kritérií přijatelnosti je reprezentativním i pro událost ztráty vakua v kondenzátoru. Na základě toho lze konstatovat, že prokázáním splnění kritérií přijatelnosti pro případ výpadku turbín je prokázáno splnění stejných kritérií přijatelnosti i pro případ ztráty vakua v kondenzátoru.

Souhrnně lze konstatovat, že důsledky (včetně radiologických) případu ztráty vakua v kondenzátoru nebudou nepříznivější než důsledky v případě výpadku turbíny (část 15.2.3).

15.3.6 Ztráta pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení

Identifikace příčin a popis události

Iniciační událostí je ztráta pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení (ZPRZEN) s následnou ztrátou elektrického napájení pomocných systémů jaderného bloku. Nejvýznamnějším důsledkem toho je výpadek hlavních cirkulačních čerpadel, napájecích a kondenzátních čerpadel. Ztráta elektrického napájení může být způsobena rozpadem vnější sítě spojeným s výpadkem turbogenerátorů na JE anebo ztrátou vnitřní rozvodné sítě (nezahrnující dieselgenerátory).

Průběh události a činnost systémů

Pokud dojde ke ztrátě vnějšího elektrického napájení, dojde k odpojení jaderného bloku od vnější sítě a regulační ventily turbín se rychle zavírají. Až teprve když selže přechod bloku na vlastní spotřebu, dochází ke ztrátě elektrického napájení pro některá důležitá zařízení, z nichž nejvýznamnější jsou HCČ a elektronapájecí čerpadla.

Se zpožděním 3 s vzniká signál na rychlé odstavení reaktoru od výpadku HCČ. Páru ze sekundárního okruhu po uzavření RZV turbín mohou odvádět PSK, které však po ztrátě napájení vlastní spotřeby mohou pracovat jen po omezenou dobu. Po jejich uzavření je odvod zbytkového tepla z reaktoru zajišťován pomocí přepouštěcích stanic do atmosféry, případně pomocí pojistných ventilů parogenerátorů.

Po ztrátě napájení vlastní spotřeby dochází k automatickému nabíhání dieselgenerátorů, které zajistí elektrické napájení zařízení, která jsou důležitá pro udržení bezpečného stavu bloku. Jedná se především o systém havarijního napájení parogenerátorů.

a) Z hlediska minima DNBR zahrnuje analýza ztráty normálního napájení parogenerátorů vodou předpoklad vzniku ZPRZEN. Taková analýza je oproti samostatnému případu ZPRZEN nepříznivější v tom, že v okamžiku ztráty pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení je proti normálnímu provozu snížena hladina v parogenerátorech. Z uvedené skutečnosti plyne, že prokázáním splnění kritéria přijatelnosti nedosažení krize varu pro případ ztráty normálního napájení parogenerátorů vodou (přičemž analýza zahrnuje předpoklad vzniku ZPRZEN), je prokázáno splnění tohoto kritéria i pro případ ztráty pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení.

b) Z hlediska maxima tlaku v I.O a II.O zahrnuje analýza ztráty normálního napájení parogenerátorů vodou předpoklad vzniku ZPRZEN. Taková analýza je oproti samostatnému případu ZPRZEN nepříznivější v tom, že v okamžiku ztráty pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení je proti normálnímu provozu snížena hladina v parogenerátorech. Z uvedené skutečnosti plyne, že prokázáním splnění kritéria přijatelnosti nepřekročení tlaků v I.O a II.O pro případ ztráty normálního napájení parogenerátorů vodou (přičemž analýza zahrnuje předpoklad vzniku ZPRZEN), je prokázáno splnění tohoto kritéria i pro případ ztráty pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení.

c) Z hlediska maximální teploty paliva nedochází při událostech se snížením odvodu tepla sekundárním okruhem k nárůstu maxima teploty paliva oproti výchozímu stavu, proto u těchto událostí k porušení kritéria nedosažení teploty tavení paliva nemůže dojít. Za charakteristický lze považovat průběh maximální teploty paliva v případě ztráty normálního napájení PG vodou (ve všech předložených variantách).

Souhrnně lze konstatovat, že důsledky (včetně radiologických) případu ztráty pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení nebudou nepříznivější než důsledky v případě ztráty normálního napájení PG vodou s uvažováním ZPRZEN (viz část 15.2.7).

15.3.7 Ztráta normálního napájení parogenerátoru vodou

Identifikace příčin a popis události

Ztráta normálního napájení parogenerátorů vodou znamená ukončení dodávky napájecí vody do parogenerátorů. Příčinou může být porucha v elektrickém napájení elektronapájecích čerpadel (ENČ), odpojení ENČ od nízké hladiny v napájecí nádrži anebo únik napájecí vody z napájecího systému, případně odpojení ENČ chybou operátora. Ke ztrátě dodávky napájecí vody může také dojít chybnou funkcí ventilů na trasách přívodu napájecí vody.

Nejnepříznivější případ nastává při maximálním parním výkonu parogenerátorů a při maximální hustotě tepelného toku na povrchu palivových proutků, jež odpovídá provozu na nejvyšším výkonu povolenému pro daný režim. Při provozu menšího počtu hlavních cirkulačních smyček je maximální přípustný výkon reaktoru nižší než při provozu všech smyček, takže je menší množství akumulovaného tepla v palivu a odvod tepla může být

snáze zajištěn. Navíc je v takovém případě kapacita SHNČ relativně větší, takže je k disposici větší rezerva pro dlouhodobé dochlazování bloku.

Jak bylo výše uvedeno, jednou z možných příčin ztráty normálního napájení parogenerátorů vodou je únik chladiva ze systému napájecí vody. Aby výsledky byly nezávislé na možném spektru velikostí úniku a pokrývaly i případy uzavření ventilů na přívodu napájecí vody do parogenerátorů, neuvažují se signály RTS či ESFAS od tlaku v hermetických prostorech a od snížení tlaku ve výtlačném kolektoru ENČ nebo v hlavním napájecím kolektoru.

Událost ztráty normálního napájení parogenerátorů vodou, i když je zařazena mezi události abnormálního provozu, byla řešena alternativně bez ZPRZEN a se ZPRZEN. Pokud k ZPRZEN dojde před signálem RTS od nízké hladiny v parogenerátorech, dojde k dřívějšímu rychlému odstavení reaktoru a to povede z hlediska odvodu zbytkového tepla k příznivějšímu výsledku - ten však bude ovlivněn snížením průtoku před vlastním odstavením reaktoru. Všechny tyto aspekty jsou konzervativně zahrnuty analýzou, která předpokládá ZPRZEN v okamžiku, kdy by měl vzniknout signál RTS od nízké hladiny v PG, avšak rychlé odstavení reaktoru se od tohoto signálu nemodeluje.

Z hlediska maximálního tlaku v I.O může událost nepříznivě ovlivnit vznik signálu „nízké parametry“ od poklesu tlaku v rozvodu napájecí vody. Tento signál snižuje výkon turbíny. Pokud není modelováno přepnutí regulátoru reaktoru do režimu udržování tlaku v HPK, aby reaktor odpovídajícím způsobem snižoval výkon, bude se prohlubovat rozdíl mezi produkovaným a odváděným teplem a bude narůstat tlak v I.O.

Pro ověření uvažovaných kritérií přijatelnosti a pro ověření dlouhodobé chladitelnosti tak v souladu s výše uvedeným komentářem vyplývají následující výpočtové varianty:

- ztráta normálního napájení parogenerátorů vodou za provozu 6 smyček – analýza zaměřená na minimum DNBR (varianta A),

- ztráta normálního napájení parogenerátorů vodou za provozu 6 smyček – analýza zaměřená na maximum tlaku (varianta B),

- ztráta normálního napájení parogenerátorů vodou za provozu 6 smyček – analýza zaměřená na dlouhodobé dochlazování (varianta C).

Průběh události a činnost systémů

Od poklesu tlak ve společném výtlaku ENČ vzniká signál RTS, který zajistí rychlé odstavení reaktoru. Pokud by tento signál z nějakého důvodu nevznikl, je zajištěno rychlé odstavení reaktoru od nízké hladiny v parogenerátorech.

Pokud dojde ke snížení střední hladiny alespoň ve dvou parogenerátorech o 140 mm, vzniká signál na start pomocného napájecího čerpadla. Pokud by tento signál nevznikl, naběhne jedno havarijní napájecí čerpadlo od signálu ESFAS „ztráta napájecí vody“. Tento signál zajišťuje rovněž start superhavarijního čerpadla, přičemž přivedení napájecí vody do parogenerátorů od tohoto čerpadla vyžaduje zásah operátora.

Pokud je příčinou ztráty normálního napájení trhlina někde v potrubích systému napájecí vody, zapracuje signál ESFAS „roztržení hlavního napájecího nebo hlavního výtlačného kolektoru“. Tento signál zajistí oddělení polovin rozvodu napájecí vody a umožní pro napájení tří parogenerátorů využít neporušenou polovinu tohoto rozvodu, což je pro odvod zbytkového tepla postačující.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Ve všech třech variantách je událost modelována jako okamžité ukončení dodávky napájecí vody do všech PG. U variant A a C se navíc současně modeluje selhání systému normálního doplňování chladiva a systému elektroohříváků KO. U varianty B se současně modeluje selhání systému odpuštění a systému sprchování KO.

U všech tří variant se konzervativně neuvažuje zapůsobení prvního signálu RTS, reaktor je odstaven od 2. signálu od výpadku 4 a více HCČ. Průběh události lze znázornit pro variantu A časovým průběhem minima DNBR na obr. 15.19, pro variantu B časovým průběhem maxima tlaku v I.O na obr. 15.20 a maxima tlaku v II.O na obr. 15,21.

Z parametrů, sledovaných u varianty dlouhodobého dochlazování (varianta C) byl pro ilustraci zahrnut obr. 15.22 s průběhem teplot chladiva v horkých větvích hlavních cirkulačních smyček. Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,141** dosažené v čase 82,4 s od vzniku události (varianta A) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

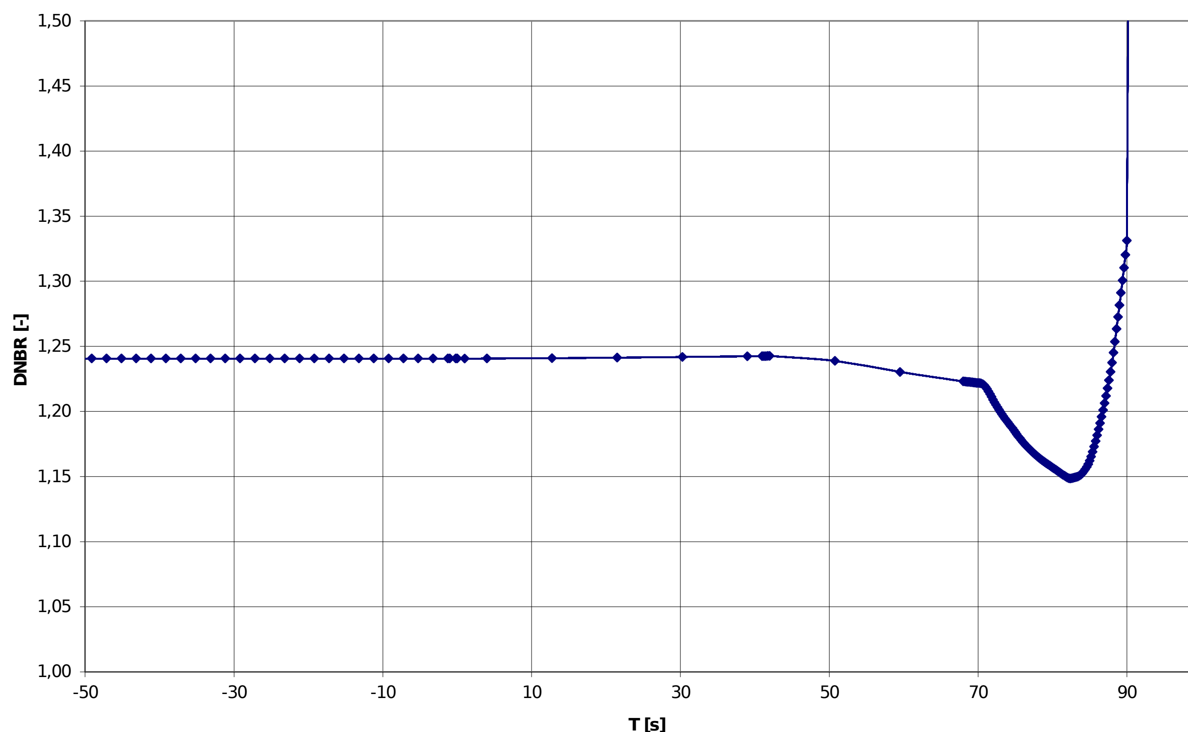
Maximum tlaku **14,91 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 86,2 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **5,88 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 94,6 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

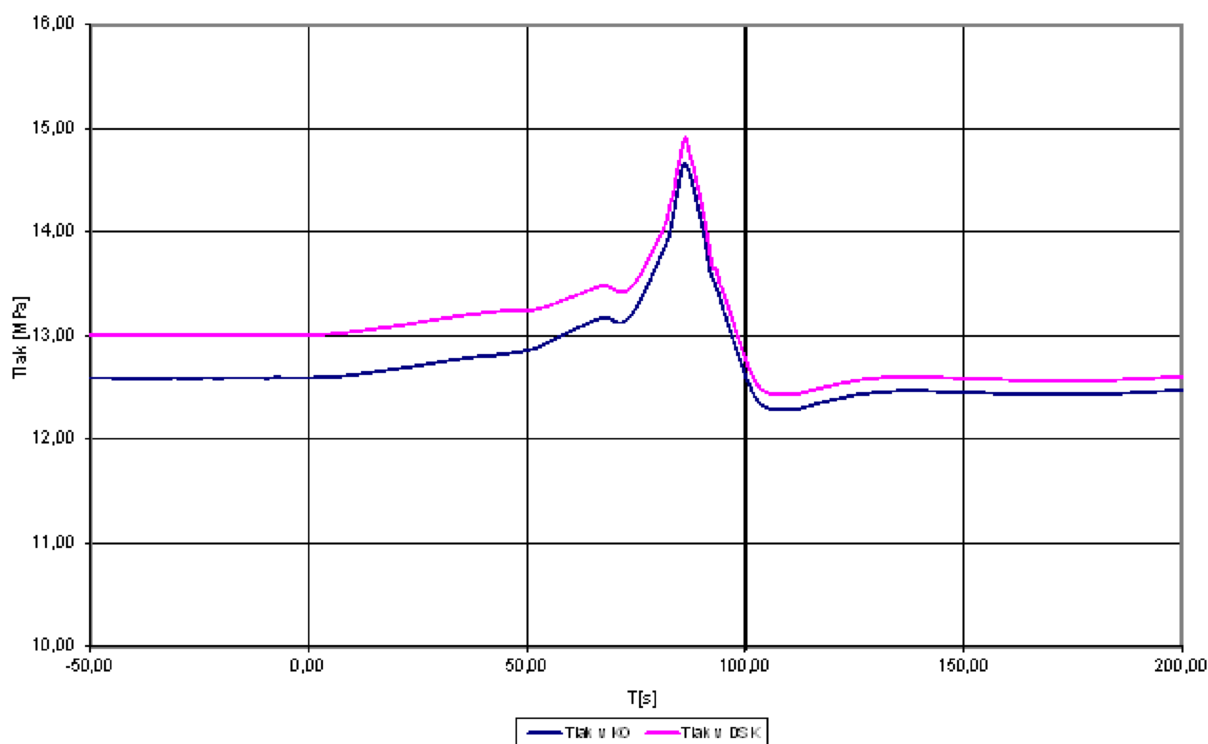
Maximum teploty paliva **1521 °C** dosažené v čase 0 s od vzniku události (všechny varianty) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že vlivem události nedochází k porušení palivových proutků, Množství případně vypouštěného média do okolní atmosféry je podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, takže případné radiologické důsledky události výpadku turbín budou méně nepříznivé, než v případě roztržení tohoto potrubí. Jak je doloženo v části 15.1.5, případ roztržení potrubí na HPK splňuje radiologická kritéria pro abnormální provoz.

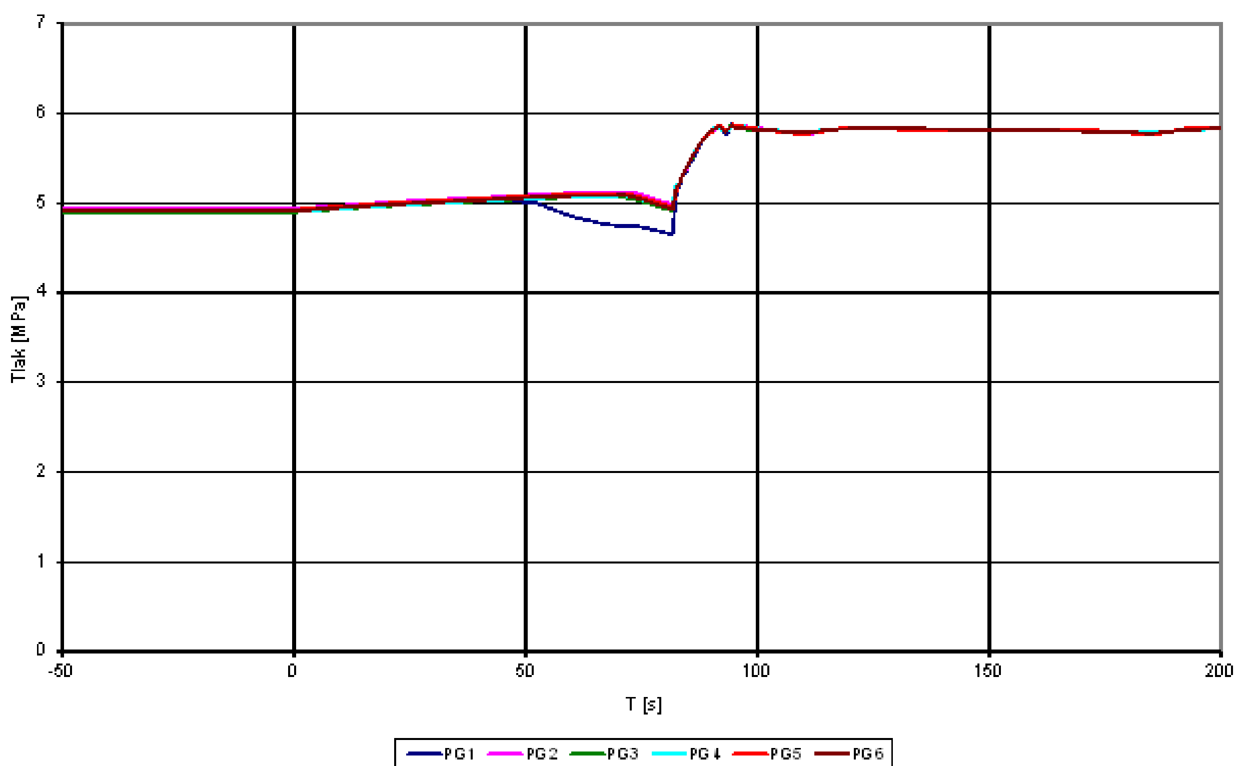
Celkově lze shrnout, že sledovaná kritéria přijatelnosti pro případy neřízeného uzavření oddělovacích armatur na hlavních parovodech byla splněna.



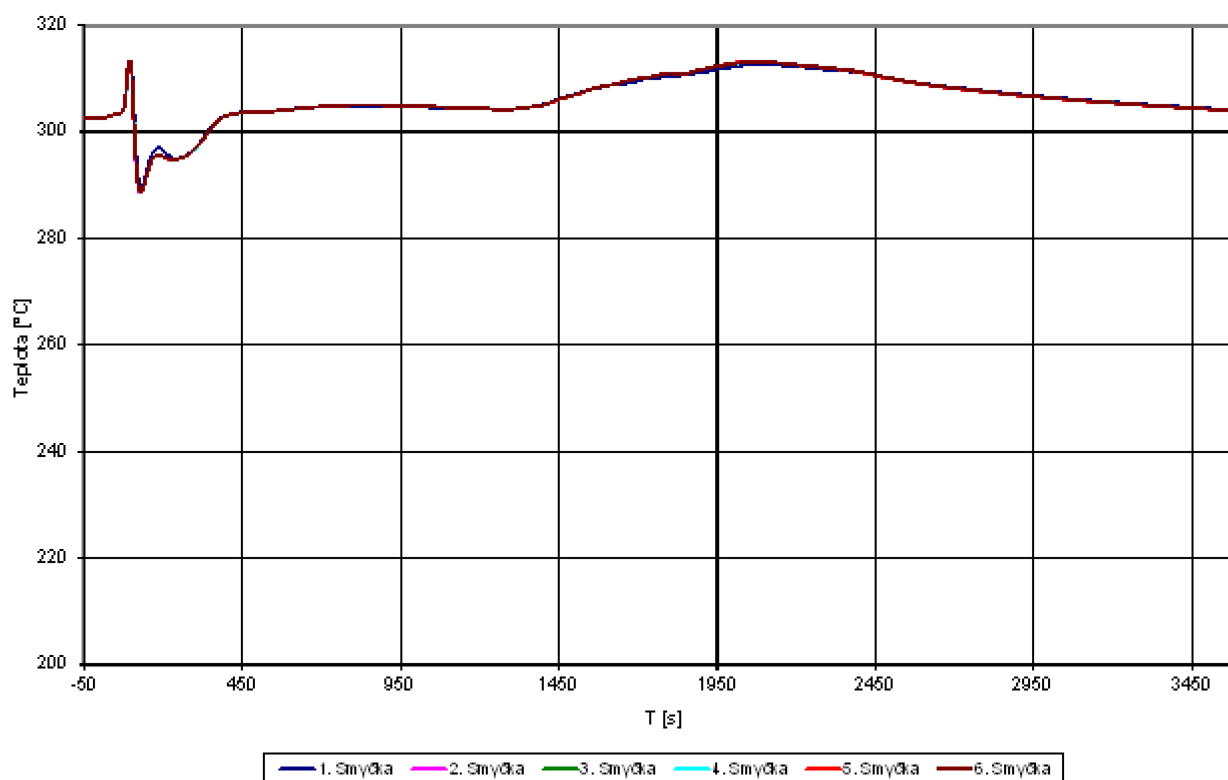
Obr. 15.19: Ztráta normálního napájení PG vodou (minimalizace DNBR): Minimum DNBR – detail



Obr. 15.20: Ztráta normálního napájení PG vodou (maximalizace tlaku v I.O): Tlak v I.O – detail



Obr. 15.21: Ztráta normálního napájení PG vodou (maximalizace tlaku v I.O): Průběh tlaku v PG – detail



Obr. 15.22: Ztráta normálního napájení PG vodou (dlouhodobé chlazení AZ): Teplota chladiva v horkých větvích

15.3.8 Prasknutí potrubí napájecí vody

Identifikace příčin a popis události

Typickou příčinou nehody může být degradace materiálu potrubí sekundárního okruhu, která vede k částečnému nebo úplnému roztržení potrubí napájecího systému parogenerátoru. V závislosti na místu prasknutí může být přerušena dodávka vody do jednoho, nebo do všech parogenerátorů (prasknutí hlavního napájecího kolektoru).

Pokud dojde k prasknutí potrubí napájecí vody na napájecí trase před zpětnou klapkou, má událost podobný charakter jako ztráta normálního napájení parogenerátorů vodou (klapka zabrání úniku chladiva z PG). Předpoklady analýzy normálního napájení parogenerátorů vodou zahrnují i možnost, že příčinou ztráty normálního napájení je trhlina v potrubích napájecího systému, a to nezávisle na velikosti únikového otvoru. Analýza ztráty normálního napájení parogenerátorů vodou však nezahrnuje možnost prasknutí potrubí napájecí vody mezi zpětnou klapkou a PG. Oproti prasknutí parních potrubí se tato událost liší tím, že v důsledku výtoku kapaliny dochází k rychlému poklesu hladiny v parogenerátoru. Důsledkem je jednak pokles tlaku v sekundárním okruhu a jednak snížení odvodu tepla z primárního okruhu v postiženém parogenerátoru, jelikož v něm teplosměnné trubky nejsou zality vodou. To je případ, který je nutno ověřit zvlášť.

Negativní bezpečnostní aspekty této události spočívají:

- ve snížení nebo ztrátě odvodu tepla sekundárním okruhem s následným natlakováním primárního okruhu,

- v možném přehřátí aktivní zóny při déle trvajícím zhoršeném odvodu tepla sekundárním okruhem,

- v potenciální možnosti otevření přepouštěcích nebo pojistných ventilů kompenzátoru objemu při déle trvajícím zhoršeném odvodu tepla s obdobnými důsledky jako v analogickém případě LOCA,

- ve výtoku sekundárního média s následným natlakováním ochranné obálky (hermetického prostoru),

- v zalití dříve obnažených trubek parogenerátoru studenou vodou s možným následným porušením integrity hranice mezi primárním a sekundárním okruhem.

Nejnepříznivější případ nastává při maximálním parním výkonu parogenerátorů a při maximální hustotě tepelného toku na povrchu palivových proutků, jež odpovídá provozu na nejvyšším výkonu povolenému pro daný režim. Při provozu menšího počtu hlavních cirkulačních smyček je maximální přípustný výkon reaktoru nižší než při provozu všech smyček, takže je menší množství akumulovaného tepla v palivu a odvod tepla může být snáze zajištěn. Na druhou stranu vyřazení jednoho parogenerátoru vlivem úniku sekundárního chladiva prasklým potrubím představuje relativně větší omezení odvodu tepla. Tento vliv byl dříve zkoumán s výsledkem, že převládá vliv vyššího výkonu povoleného při provozu většího počtu pracujících smyček.

Jako obalová varianta pro událost prasknutí potrubí napájecí vody vychází gilotinové roztržení napájecího potrubí mezi zpětnou klapkou a parogenerátorem, se současným ukončením dodávky napájecí vody i do nepostižených PG. Ochranné signály od zvýšení tlaku v hermetických prostorech a od snížení tlaku v systému napájecí vody nejsou uvažovány, takže událost je obalová pro menší úniky. Díky ukončení dodávky napájecí vody i do nepostižených PG v okamžiku vzniku události je událost obalovou i pro případy prasknutí potrubí napájecí vody před zpětnou klapkou, jako je např. prasknutí hlavního napájecího kolektoru.

Pro ověření sledovaných kritérií přijatelnosti a v souladu s komentářem výše jsou uvažovány scénáře následujících variant analyzované události:

- prasknutí potrubí napájecí vody mezi zpětnou klapkou a PG – analýza zaměřená na minimum DNBR (varianta A),

- prasknutí potrubí napájecí vody mezi zpětnou klapkou a PG – analýza zaměřená na maximum tlaku (varianta B).

<u>Průběh události a činnost systémů</u>

Prasknutí potrubí připojených k hlavnímu napájecímu kolektoru vede ke snížení tlaku v něm a ve společném výtlačném kolektoru elektronapájecích čerpadel. Od poklesu tlaku může vznikat signál na odstavení turbín, případně signál ESFAS a signál RTS, od kterého dojde k odstavení reaktoru. Snížení dodávky napájecí vody do parogenerátorů vede k poklesu hladin a odtud mohou vznikat další signály na rychlé odstavení reaktoru, vypnutí HCČ a nakonec i signál ESFAS „ztráta napájecí vody“, který zajistí rozběh superhavarijních napájecích čerpadel, jež dodávají vodu do PG skrze oddělené potrubí, takže odvod zbytkového tepla může být zajištěn.

<u>Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti</u>

Obě varianty události jsou modelovány jako gilotinové roztržení potrubí mezi zpětnou klapkou a PG o průměru 253 mm. U varianty A je uvažován první signál RTS od poklesu hladiny ve dvou PG, u varianty B tentýž signál, který vzniká jako první, uvažován není, odstavení se modeluje od 2. signálu od převýšení tlaku v I.O. Průběh události lze pro variantu A ilustrovat prostřednictvím časového průběhu minima DNBR na obr. 15.23 a pro variantu B prostřednictvím průběhu maxima tlaku v I.O na obr. 15.24, maxima tlaku v II.O na obr. 15.25 a úniku média do okolní atmosféry na obr. 15.26.

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

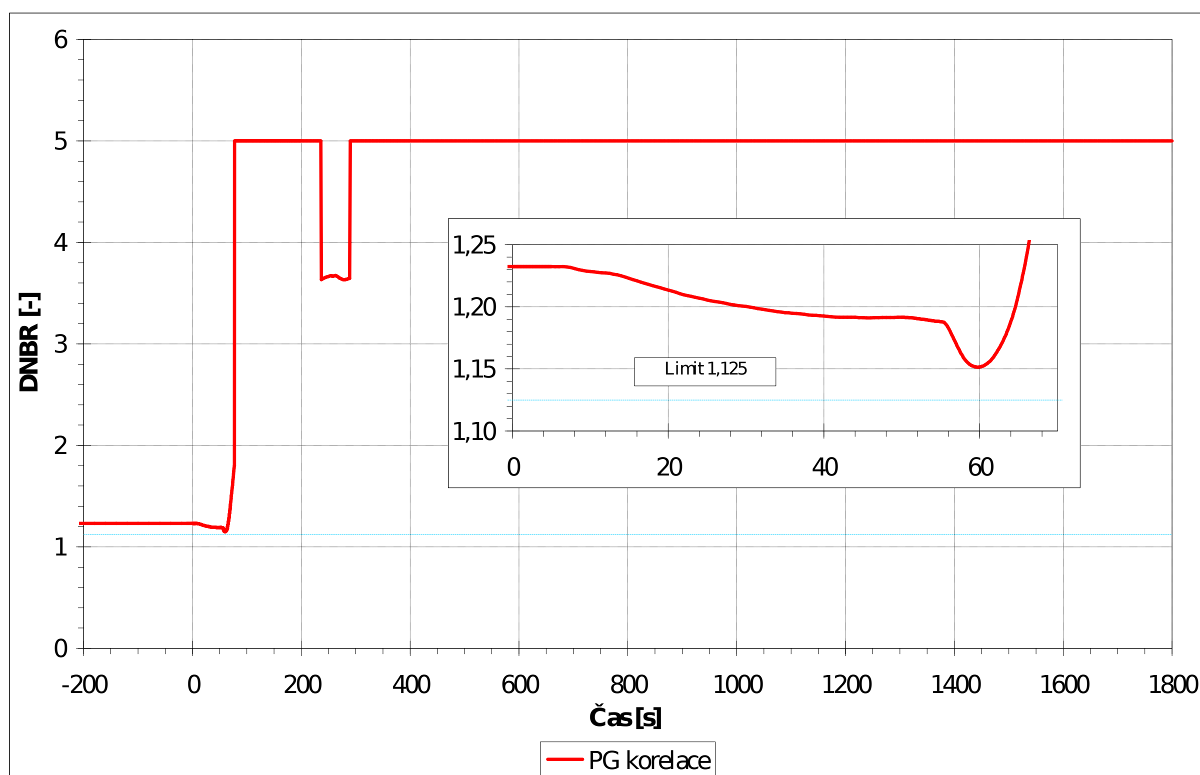
Minimum DNBR **1,151** dosažené v čase 59,8 s od vzniku události (varianta A) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **15,05 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 60,1 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

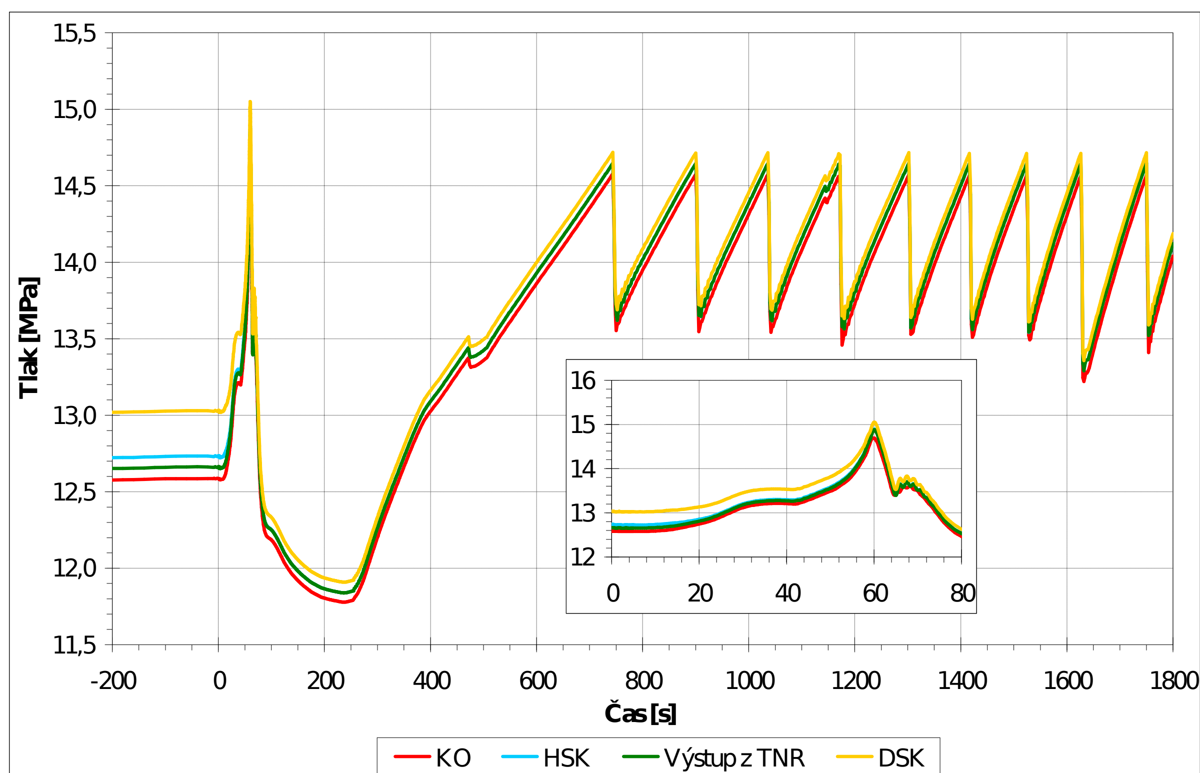
Maximum tlaku **5,85 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase > 1600 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva **1880 °C** dosažené v čase 0 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

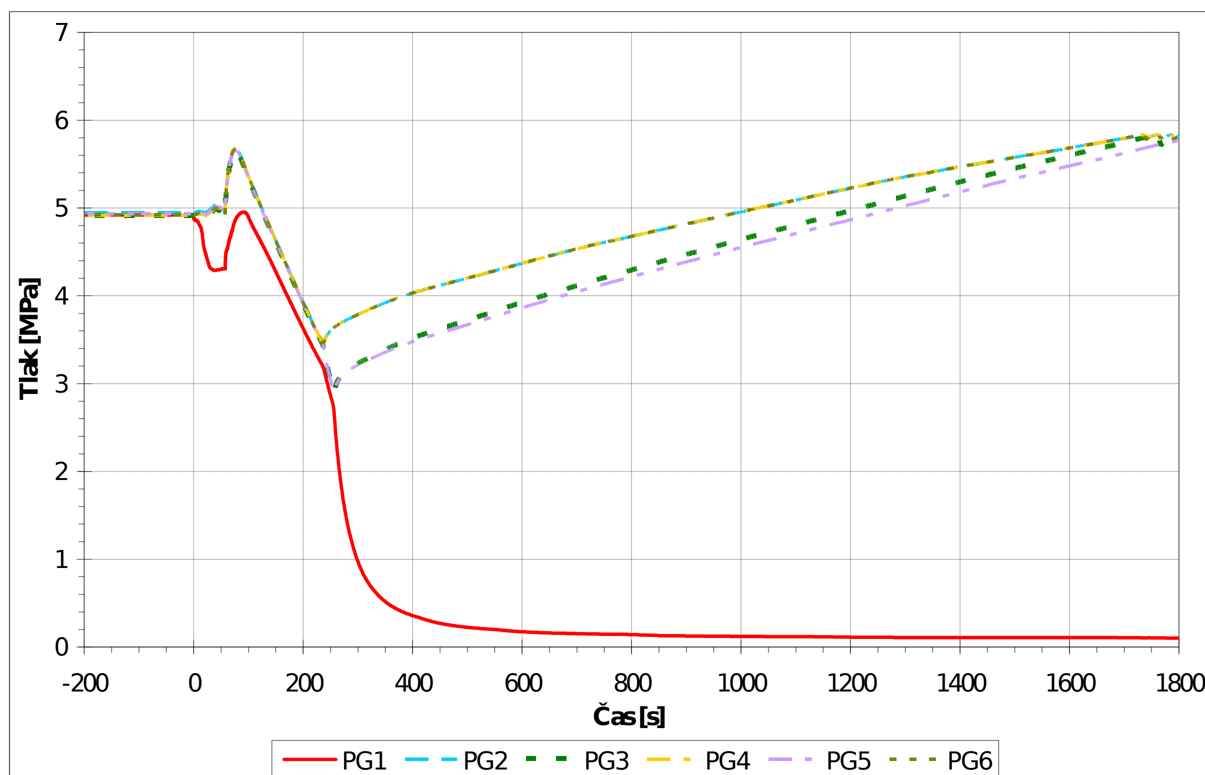
Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje výsledky analýzy roztržení potrubí napájecí vody PG pro nominální výkonovou hladinu 1485 MW. Analýza byla zaměřena na plnění kritérií pro havarijní podmínky bez ohledu na splněné kritérium nedosažení krize varu. Všechna sledovaná kritéria byla splněna s velkou rezervou.



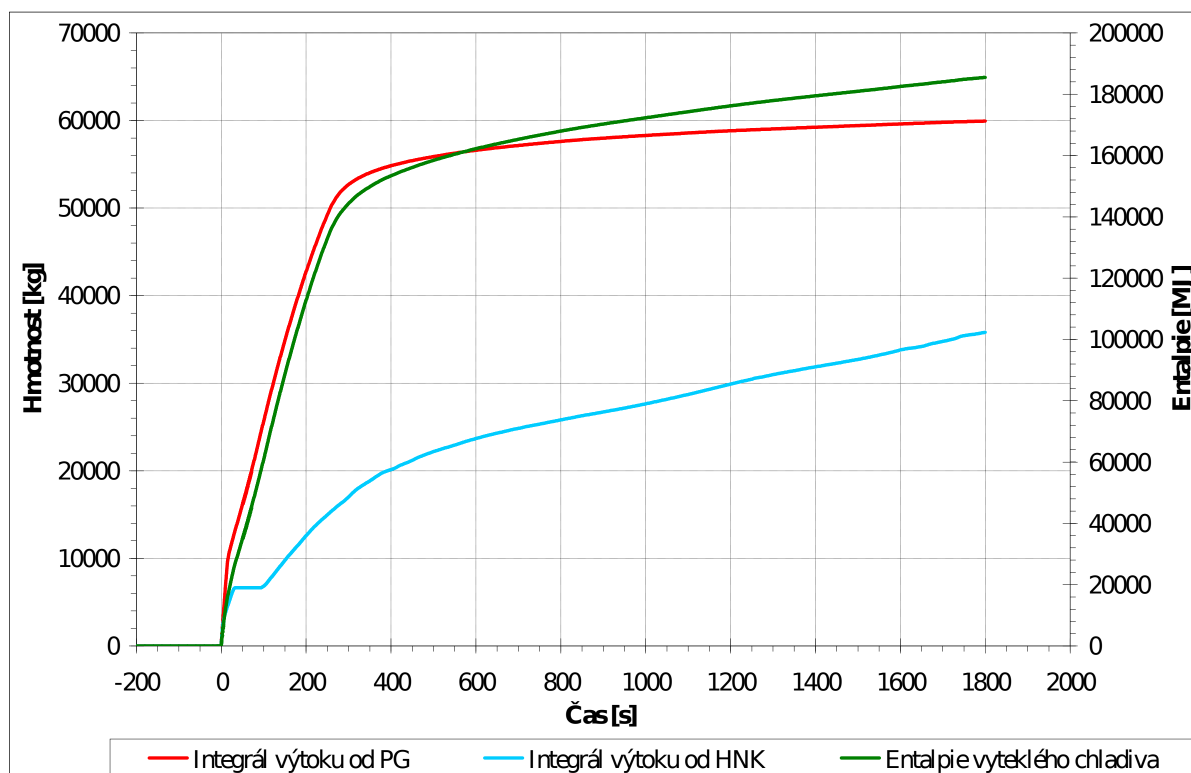
Obr. 15.23: Roztržení potrubí napájecí vody mezi zpětnou klapkou a PG (minimalizace DNBR): Průběh minima DNBR



Obr. 15.24: Roztržení potrubí napájecí vody mezi zpětnou klapkou a PG (maximalizace tlaku v I.O): Tlaky v I.O



Obr. 15.25: Roztržení potrubí napájecí vody mezi zpětnou klapkou a PG (maximalizace tlaku v I.O): Tlak v PG



Obr. 15.26: Roztržení potrubí napájecí vody mezi zpětnou klapkou a PG (maximalizace tlaku v I.O): Integrál úniku

Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že vlivem události při uvažování prvního RTS signálu nedochází k porušení palivových proutků. V případě prasknutí potrubí napájecí vody mezi zpětnou klapkou a PG vytéká médium do hermetických prostorů, takže množství případně vypouštěného média do okolní atmosféry je podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, kdy dochází k přímému úniku média do okolí. Z toho plyne, že radiologické důsledky událostí prasknutí potrubí napájecí vody mezi zpětnou klapkou a PG budou méně nepříznivé, než v případě roztržení potrubí na HPK. Jak je doloženo v části 15.1.5, případ roztržení potrubí na HPK splňuje radiologická kritéria pro abnormální provoz. Tento závěr zůstane v platnosti i v případě uvažování až druhého signálu RTS v případě prasknutí potrubí napájecí vody, jelikož možný počet porušených palivových proutků nepřekročí uvažovaný počet při analýze 15.1.5 jako události abnormálního provozu.

Celkově lze shrnout, že sledovaná kritéria přijatelnosti pro případ prasknutí potrubí napájecí vody byla splněna.

15.4 Snížení průtoku chladiva primárním okruhem

Události, které vedou ke snížení průtoku chladiva primárním okruhem, jsou rozděleny do následujících skupin:

15.3.1 Výpadek jednoho nebo více hlavních cirkulačních čerpadel
15.3.2 Úplná ztráta nuceného průtoku chladiva reaktorem
15.3.3 Zadření rotoru hlavního cirkulačního čerpadla
15.3.4 Prasknutí hřídele rotoru hlavního cirkulačního čerpadla
15.3.5 Uzavření hlavní uzavírací armatury
15.3.6 Snížení průtoku chladiva palivovou kazetou

Při analýzách událostí výše uvedených skupin se v případě, že jsou zařazeny k abnormálnímu provozu, používají následující kritéria přijatelnosti: nedosažení krizových podmínek přestupu tepla na vnějším povrchu žádného palivového proutku,

nedosažení teploty tavení paliva a nepřekročení dovolené hodnoty tlaku chladiva v primárním i sekundárním okruhu během celého procesu. Rozsáhlé spektrum dosud provedených analýz ukázal, že z celé skupiny iniciačních událostí je možné vyčlenit určující události z hlediska výše jmenovaných kritérií přijatelnosti a na základě výsledků výpočtů těchto rozhodujících událostí prokázat bezpečnost s použitím konzervativně zobecněných charakteristik systémů a součástí reaktorového zařízení.

V případě uvažování postupného výpadku hlavních cirkulačních čerpadel, reprezentovaného ztrátou pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení, jsou příslušné události zařazeny do kategorie havarijních podmínek, kde je klíčovým kritériem místo nedosažení krize varu kritérium nepřekročení stanovené maximální teploty pokrytí, případně nepřekročení stanovené maximální hodnoty entalpie paliva. Další kritéria jsou pak co do hodnot stejná jako u abnormálního provozu.

Události 15.3.3 a 15.3.4 jsou sice zařazeny mezi havarijní podmínky, takže pro ně je možno v principu použít kritéria pro havarijní podmínky, avšak průběh odpovídajících procesů nevede ke krizovým podmínkám přestupu tepla, takže i v těchto případech jsou splnitelná kritéria přijatelnosti pro abnormální provoz.

Událost 15.3.6 je zařazena do kategorie havarijních podmínek, avšak při mírnějším snížení (blokování) průtoku chladiva palivovou kazetou může tato událost splňovat podmínky abnormálního provozu.

15.4.1 Výpadek jednoho nebo více hlavních cirkulačních čerpadel

Identifikace příčin a popis události

Iniciační událostí je ztráta elektrického napájení jednoho nebo více hlavních cirkulačních čerpadel. Příčinou může být porucha samotných HCČ, či porucha v systému elektrického napájení, nebo chybná činnost operátora anebo zapůsobení ochran HCČ. Důsledkem je snížení průtoku chladiva reaktorem, které představuje zhoršení podmínek chlazení aktivní zóny. Snížení průtoku vede současně k růstu střední teploty chladiva, což znamená zvětšení objemu chladiva a růst primárního tlaku, takže může být ohroženo zachování integrity tlakové hranice primárního okruhu.

Dřívější podrobné analýzy těchto případů ukázaly, že nejnepříznivějšími jsou výpadky čerpadel 3/6 a 2/5 z hlediska minima DNBR a výpadek 2/6 z hlediska maxima tlaku v I.O. V souladu s kategorizací událostí jsou analyzovány jako abnormální provoz výpadky čerpadel bez uvažování ZPRZEN a jako havarijní podmínky případy postupných výpadků HCČ. Kritérium přijatelnosti zajišťující neporušení tlakové hranice primárního okruhu je pro abnormální provoz i pro havarijní podmínky identické, takže z hlediska tlaku v I.O stačí analyzovat nejnepříznivější případ bez ohledu na přiřazenou kategorii, který pak pokryje jak událost z kategorie abnormální provoz, tak událost z kategorie havarijní podmínky. U maximální teploty paliva nedochází k významnějším odklonům od výchozí hodnoty, její sledování je tedy pouze formální.

Podle výsledků DNBR pro varianty bez ZPRZEN je nepříznivějším případem výpadek 3 ze 6 pracujících HCČ oproti výpadku 2 z 5 pracujících, avšak u výpadku 3 ze 6 HCČ je uvažován až druhý signál RTS. Tím je převýšení tlaku v I.O, který však u výpadku 2 z 5 HCČ nevzniká. V tomto případě tak není k dispozici žádný jiný účinný signál, proto se musela analýza výpadku 2 z 5 HCČ opírat o první vznikající signál od převýšení teploty chladiva v horkých větvích cirkulačních smyček. Tím také tato varianta vychází příznivěji oproti výpadku 3 ze 6 HCČ s odstavením od druhého signálu RTS.

Souhrnně byly analyzovány případy:

- výpadek 3 ze 6 pracujících HCČ bez ZPRZEN z hlediska minima DNBR (varianta A),
- výpadek 3 ze 6 pracujících HCČ se ZPRZEN z hlediska maxima teploty pokrytí (varianta B),
- výpadek 2 ze 6 pracujících HCČ se ZPRZEN z hlediska maxima tlaku v I.O (varianta C).

Z hlediska tlaku v I.O vede k nepříznivějším výsledkům varianta C.

Průběh události a činnost systémů

Pokud dojde k výpadku takového počtu HCČ, že v provozu zůstanou tři nebo více HCČ, zapůsobí limitační systém a sníží výkon na úroveň povolenou pro daný počet pracujících HCČ. Pokud v provozu zůstane méně než tři HCČ, vznikne signál na rychlé odstavení reaktoru.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

U variant A a B je modelován výpadek tří HCČ ze šesti a současně selhání systému normálního doplňování chladiva a nefunkčnost systému elektroohříváků KO. U varianty C se modeluje výpadek dvou HCČ ze šesti a současně selhání systému odpouštění a sprchování KO. Navíc se u této varianty předpokládá zablokování v uzavření poloze ventilu na trase z KO do barbotážní nádrže.

U varianty A dochází k rychlému odstavení reaktoru od 1. signálu RTS, kterým je signál od vysoké teploty chladiva na výstupu z reaktoru. U varianty B se konzervativně neuvažují první dva signály pro odstavení reaktoru, jako diverzní je uvažován až třetí signál RTS, kterým je pokles ∆p na 4 a více HCČ. U varianty C se konzervativně první signál RTS neuvažuje, modelováno je odstavení reaktoru od 2. signálu RTS od vysokého tlaku v I.O. Průběh události lze pro variantu A ilustrovat časovým průběhem minima DNBR na obr. 15.27, pro variantu B průběhem teplot v reaktoru (v tom teploty pokrytí paliva) na obr. 15.28 a pro variantu C průběhem tlaků na obr. 15.29, 15.30.

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,132** dosažené v čase 29,5 s od vzniku události (varianta A) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

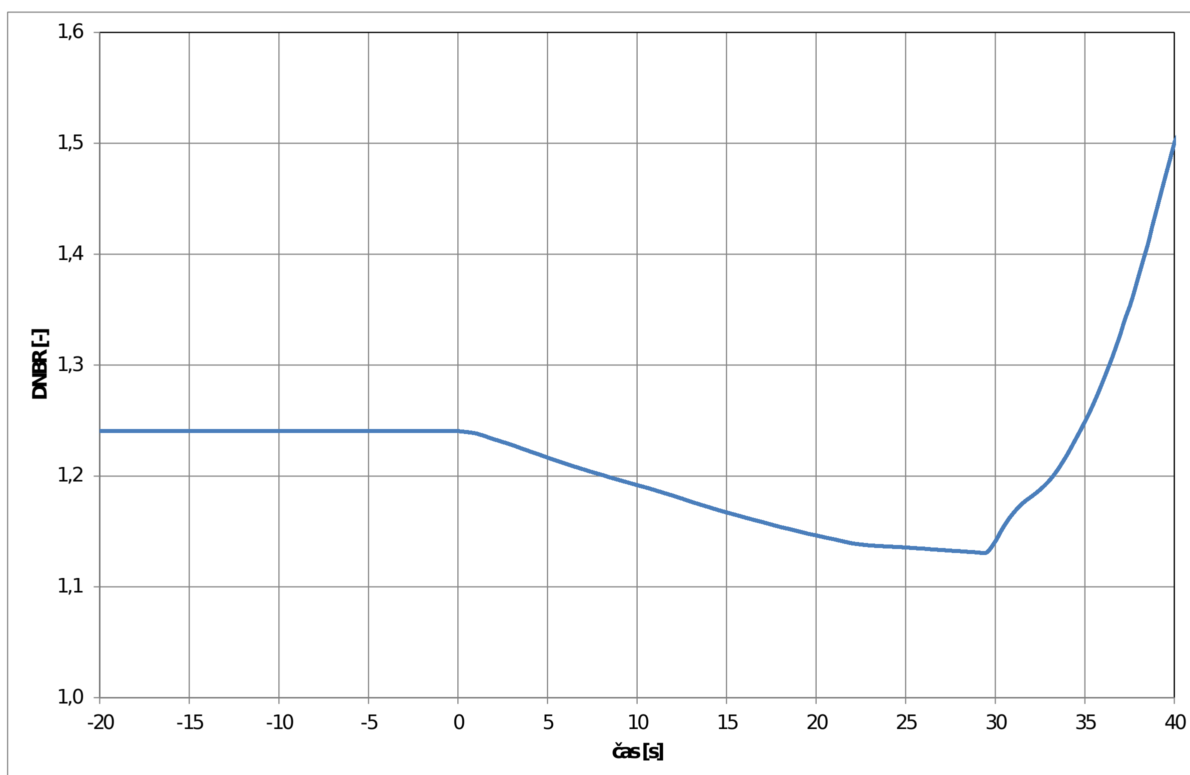
Maximum tlaku **15,14 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 37,2 s od vzniku události (varianta C) je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **5,96 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 47,0 s od vzniku události (varianta C) je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

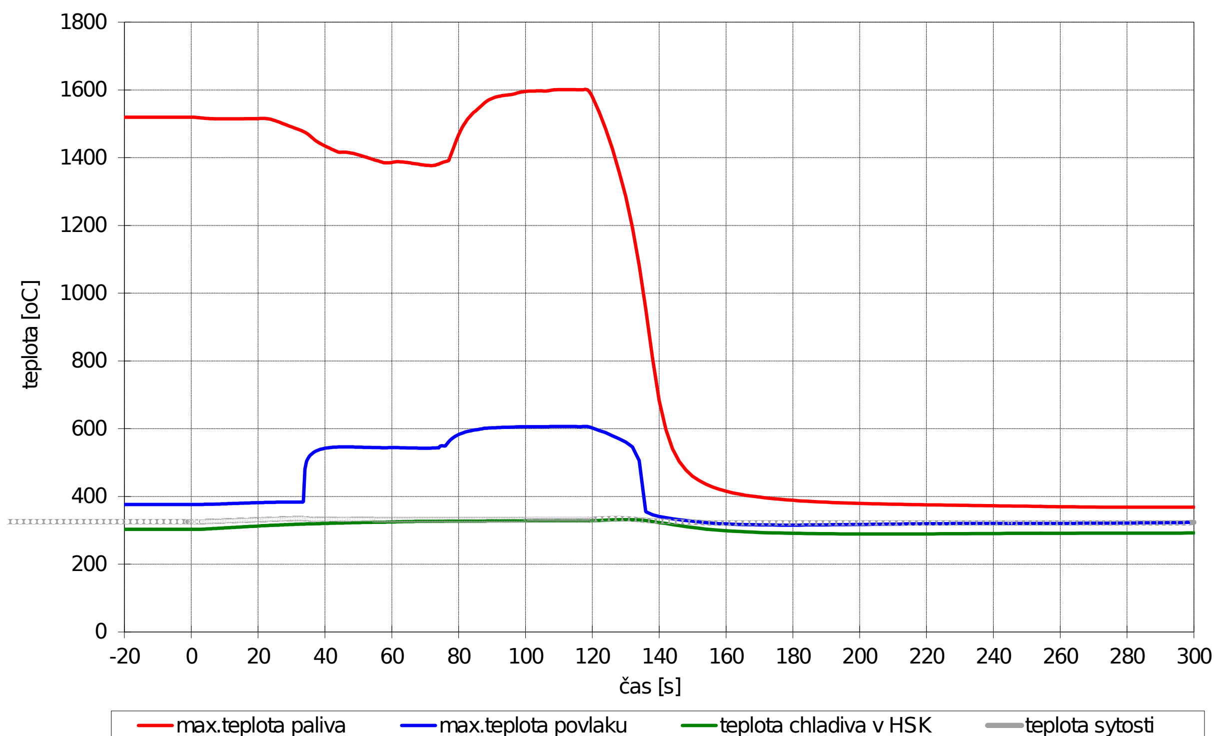
Maximum teploty paliva **1602 °C** dosažené v čase 118 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty pokrytí paliva **607 °C** dosažené v čase 118,3 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **1200 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

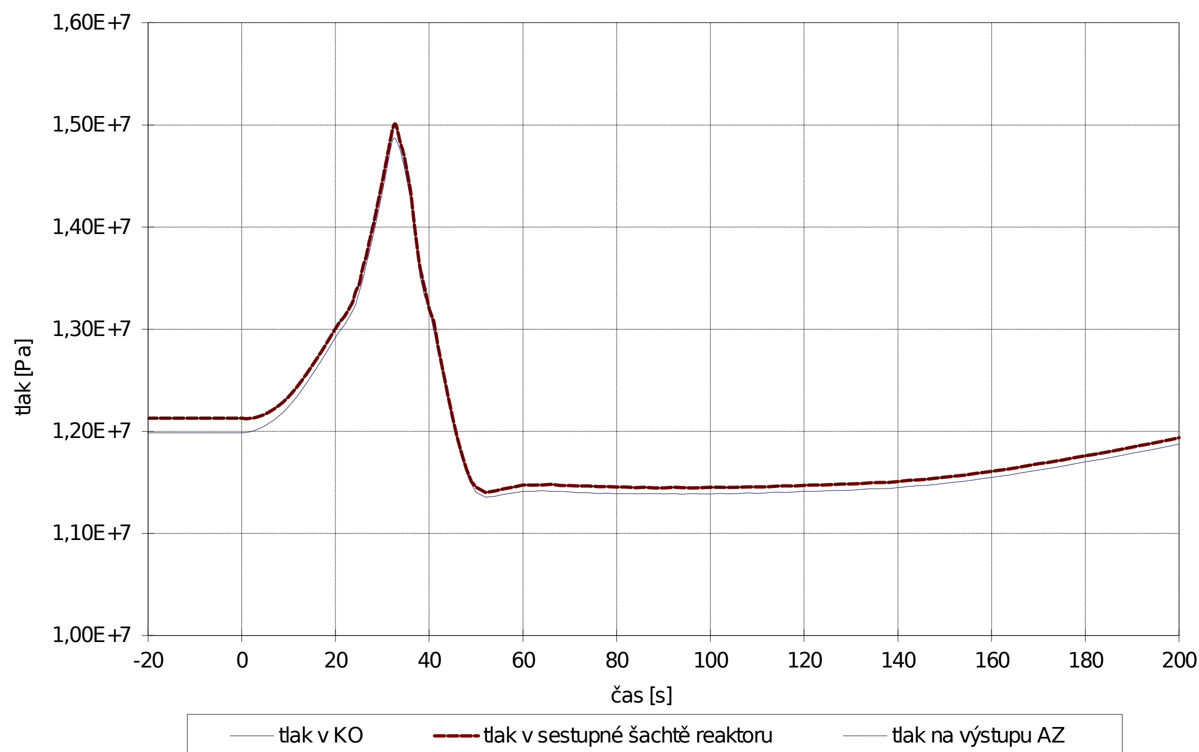
Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje výsledky analýzy výpadku 3 HCČ ze šesti pro nominální výkonovou hladinu 1485 MW. Analýza byla zaměřena na plnění kritérií pro abnormální provoz, všechna sledovaná kritéria byla splněna.



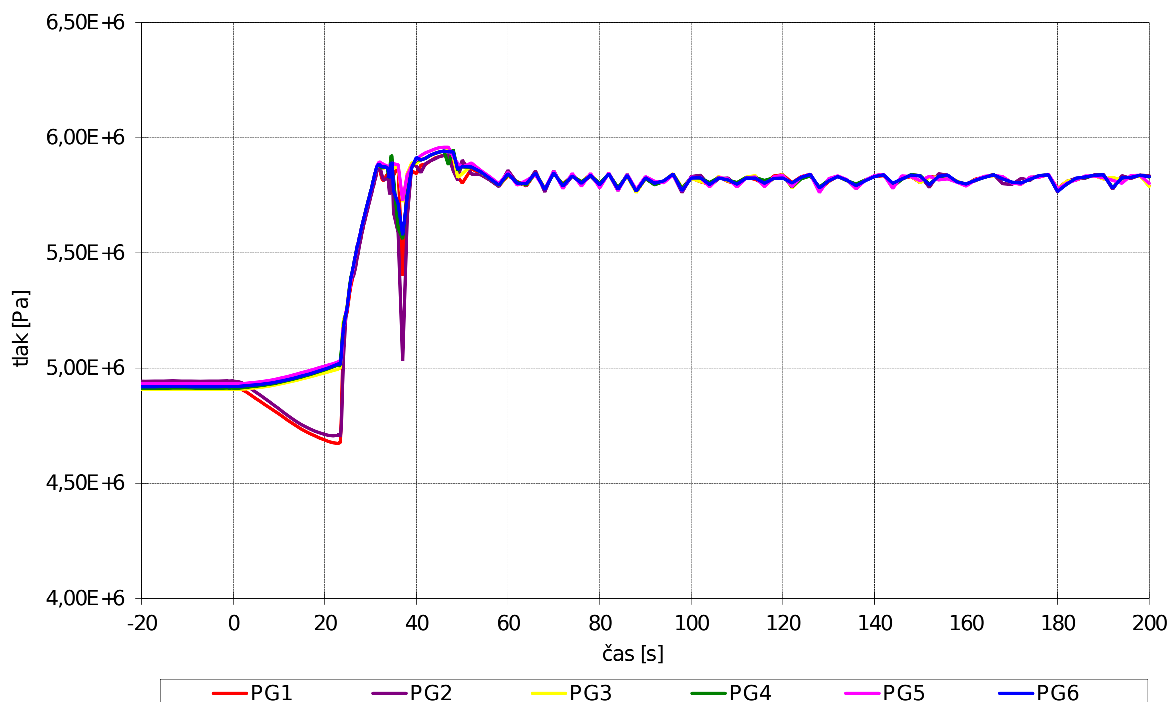
Obr. 15.27: Výpadek 3 HCČ z 6 bez ZPRZEN (minimalizace DNBR): Průběh DNBR po výšce horkého proutku v horkém kanálu



Obr. 15.28: Výpadek 3 HCČ z 6 se ZPRZEN (maximalizace teploty pokrytí=povlaku): Teploty v reaktoru



Obr. 15.29: Výpadek 2 HCČ z 6 se ZPRZEN (maximalizace tlaku v I.O): Průběhy tlaku v I.O



Obr. 15.30: Výpadek 2 HCČ z 6 se ZPRZEN (maximalizace tlaku v I.O): Průběhy tlaku v PG

Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje výsledky analýzy výpadku 3 HCČ ze šesti pro nominální výkonovou hladinu 1485 MW. Analýza byla

zaměřena na plnění kritérií pro abnormální provoz, všechna sledovaná kritéria byla splněna.

Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že v případě události zařazené do kategorie abnormální provoz, nedochází k porušení palivových proutků. Množství případně vypouštěného média do okolní atmosféry (při dlouhodobém dochlazování) bude podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, takže případné radiologické důsledky událostí výpadku HCČ za abnormálního provozu budou méně nepříznivé. Jak je doloženo v části 15.1.5, případ roztržení potrubí na HPK splňuje radiologická kritéria pro abnormální provoz.

V případě vzniku havarijních podmínek může dojít k dehermetizaci malého množství palivových proutků, u kterých bude překročen korelační limit DNBR. Počet takových proutků nepřesáhne 1 % z jejich celkového počtu v AZ (s tímto rozsahem se uvažuje v analýzách radiologických důsledků v 15.1.5). Za těchto podmínek pak platí závěry jako výše v případě průběhu, odpovídajícího abnormálnímu provozu.

Celkově lze shrnout, že sledovaná kritéria přijatelnosti pro případy neřízeného uzavření oddělovacích armatur na hlavních parovodech byla splněna.

15.4.2 Úplná ztráta nuceného průtoku chladiva reaktorem

Identifikace příčin a popis události

Iniciační událostí je současná ztráta elektrického napájení všech hlavních cirkulačních čerpadel. Příčinou může být porucha v systému elektrického napájení HCČ a nebo ztráta pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení. Důsledkem je snížení průtoku chladiva reaktorem, které představuje zhoršení podmínek chlazení aktivní zóny. Snížení průtoku vede současně k růstu střední teploty chladiva, což znamená zvětšení objemu chladiva a růst primárního tlaku, takže může být ohroženo zachování integrity tlakové hranice primárního okruhu.

Za nejnepříznivější případ se považuje výpadek všech pracujících HCČ při provozu na dovoleném výkonu. Předpokládá se selhání limitačního systému, které by vedlo po výpadku čerpadel ke změně dovoleného výkonu na nulu, k zasouvání HRK a k zákazu RCS zvyšovat výkon.

Z výsledků dřívějších analýz vyplynulo, že z hlediska minima DNBR vede výpadek 5 HCČ z 5 pracujících k příznivějším výsledkům než výpadek 6 HCČ ze 6 pracujících, avšak musí se uvažovat zapůsobení už prvního signálu RTS. Proto byly analyzovány případy vycházející z provozu 6 HCČ při maximálním dovoleném výkonu reaktoru.

Analyzuje se taktéž případ změny frekvence v síti při 6 HCČ v provozu na počátku události. Odpojení od vnější sítě se nepředpokládá, protože příslušné zařízení není bezpečnostním systémem.

V těchto analýzách se neuvažuje ZPRZEN. U události úplné ztráty průtoku chladiva primárním okruhem je z hlediska minima DNBR rozhodující uvažování nebo neuvažování prvního signálu RTS také v některých případech s výchozím provozem se 6 hlavními cirkulačními smyčkami. Celkově jsou zpracovány analýzy pro následující výpočtové varianty:

A) Výpadek 6 HCČ ze 6-ti pracujících, zaměřeno na minimum DNBR, 1. signál RTS uvažován

B) Pokles frekvence v síti při práci 6 HCČ rychlostí 0,455 Hz/s, zaměřeno na tlak v I.O, 1. signál RTS neuvažován

C) Pokles frekvence v síti při práci 6 HCČ rychlostí 0,455 Hz/s, zaměřeno na minimum DNBR, 1. signál RTS uvažován

D) Skokový pokles frekvence v síti při práci 6 HCČ, zaměřeno na minimum DNBR , 1. signál RTS neuvažován

Průběh události a činnost systémů

Při výpadku všech pracujících HCČ vzniká se zpožděním 3 s signál RTS. Tím je reaktor odstaven a může přejít do režimu odvodu zbytkového tepla přirozenou cirkulací.

Pokud dojde k poklesu frekvence v síti, nevzniká přímo signál RTS, avšak jakmile frekvence poklesne na úroveň 47,9 Hz, dojde k odpojení elektrárny od vnější sítě a k přechodu na vlastní spotřebu. Pokud je přechod na vlastní spotřebu neúspěšný, je reaktor odstaven (například od signálu RTS od výpadku 4 a více HCČ).

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Jako základní jsou varianty A a B. Varianta A je iniciována jako výpadek všech HCČ, současně se modeluje selhání systému normálního doplňování chladiva a systému elektroohříváků KO. K rychlému odstavení reaktoru dochází od signálu RTS od výpadku 4 a více HCČ. U varianty B Je modelován pokles frekvence v síti rychlostí 0,455 Hz/s, současně se modeluje selhání systému normálního doplňování chladiva a systému elektroohříváků KO. Odstavení reaktoru uvažováno od třetího signálu RTS od vysoké teploty na výstupu z reaktoru. Průběh události lze pro variantu A ilustrovat časovým průběhem minima DNBR na obr. 15.31, pro variantu B průběhem tlaků na obr. 15.32, 15.33.

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,166** dosažené v čase 6,6 s od vzniku události (varianta A) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **14,27 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 43,8 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

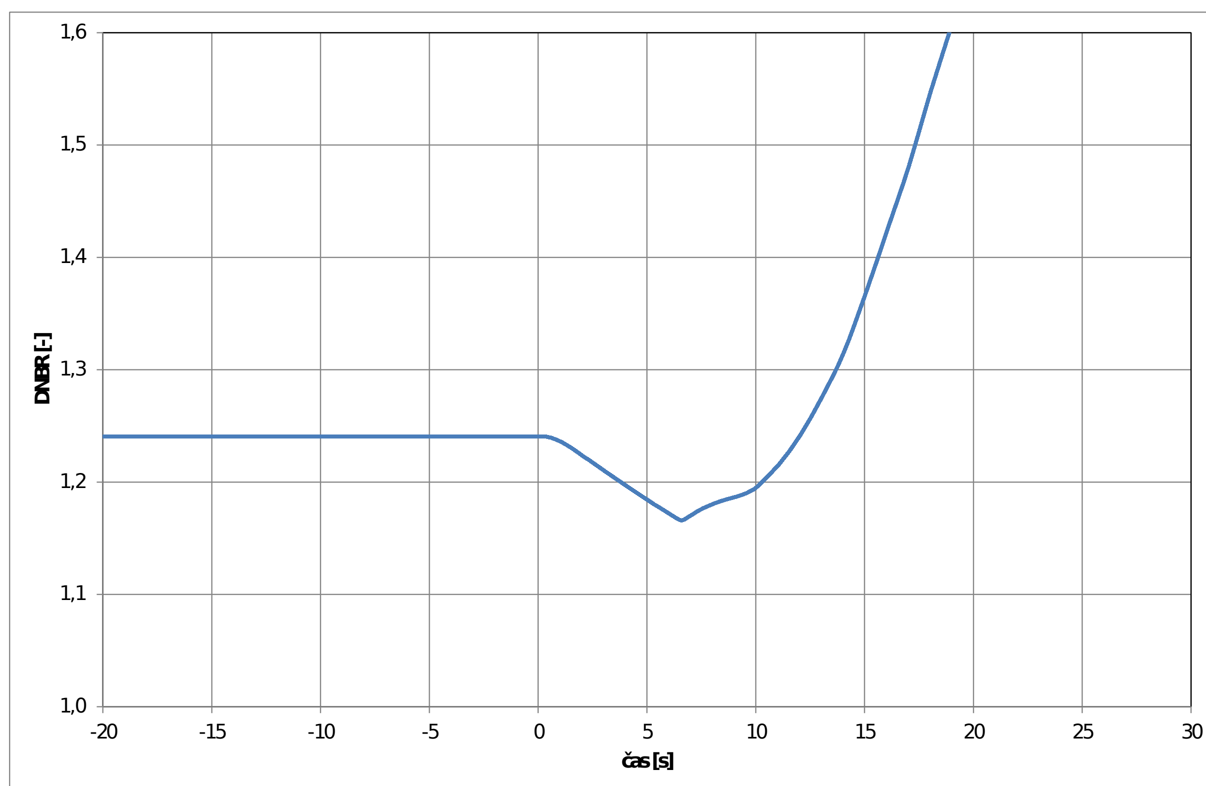
Maximum tlaku **5,86 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 72,0 s od vzniku události (varianta B) je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva **1520 °C** dosažené v čase 0 s od vzniku události (varianty A, B) je menší **než limitní hodnota 2480 °C, kritérium přijatelnosti je splněno.**

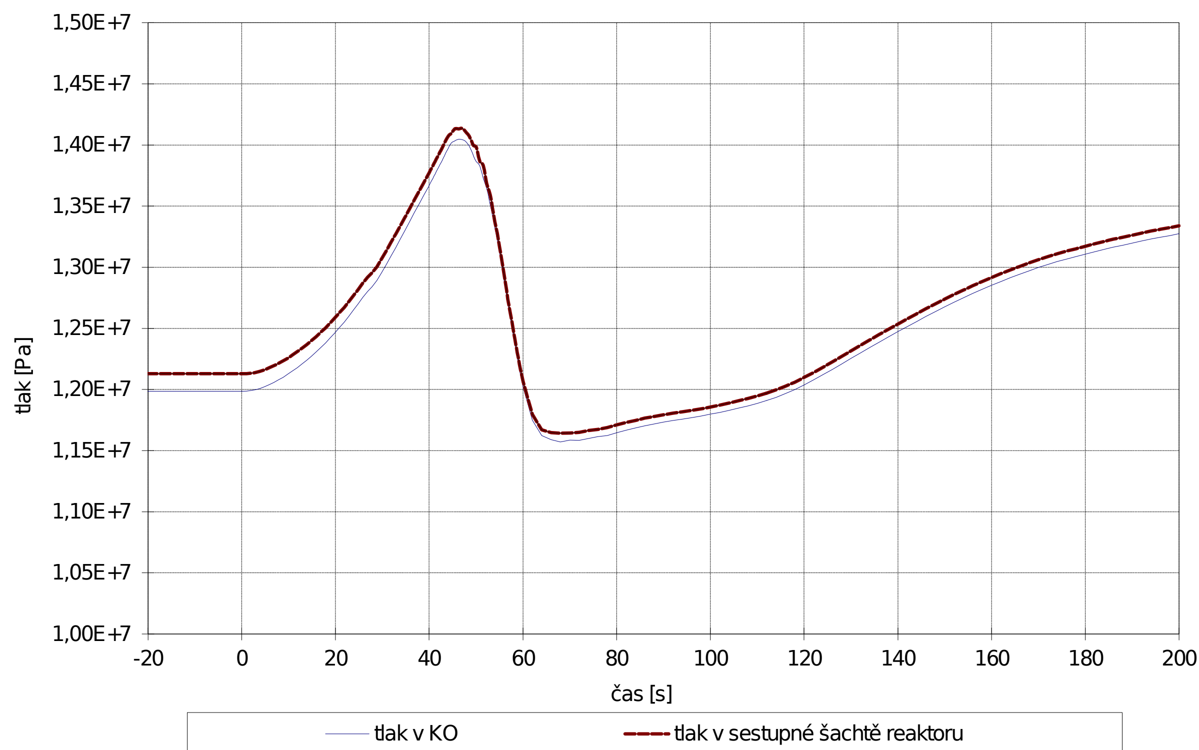
Pro doplňující varianty analyzované z hlediska minima DNBR byly získány následující výsledky:

C) Pokles frekvence v síti při práci 6 HCČ rychlostí 0,455 Hz/s: Dosaženo minimum DNBR 1,138 při uvažování 1. signálu RTS od poklesu Δp na HCČ. Limitní hodnota je 1,125, kritérium nedosažení krize varu je tedy splněno.

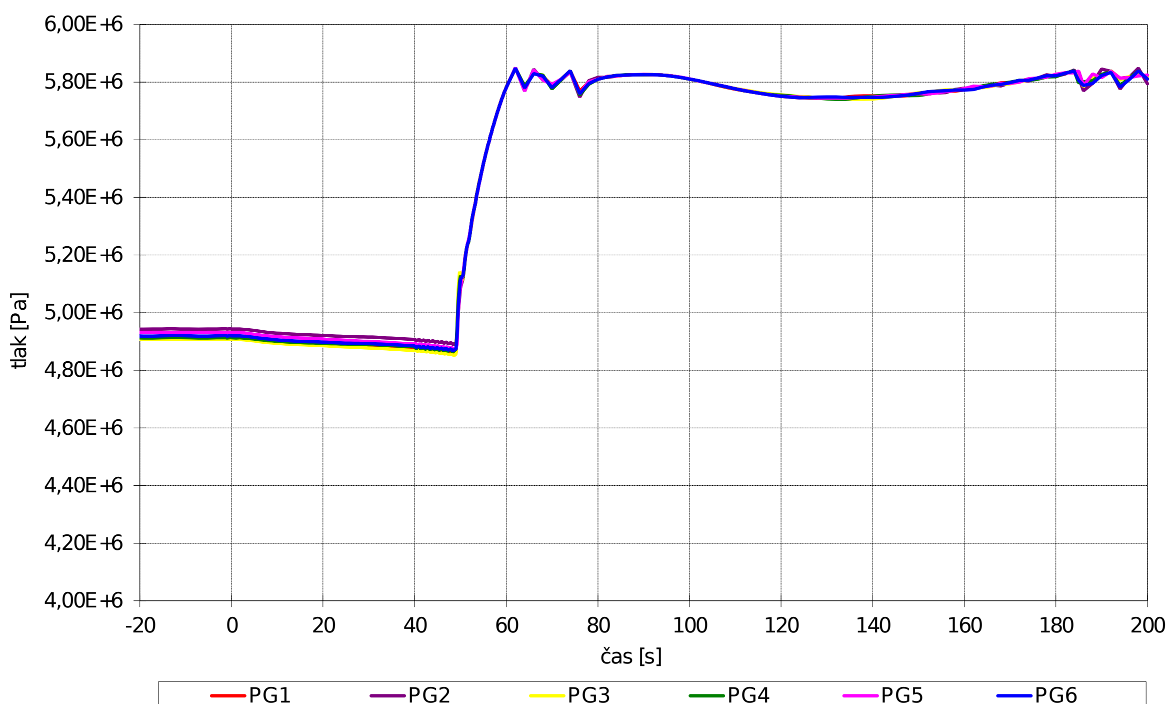
D) Skokový pokles frekvence v síti při práci 6 HCČ z 50 na 47,9 Hz a tomu odpovídající pokles otáček HCČ: Dosaženo minimum DNBR 1,231 kritérium přijatelnosti s limitní hodnotou 1,125 je tedy splněno. Odezva systému na pokles průtoku přes reaktor je v tomto případě velmi malá. Po počátečním mírném poklesu výkonu dojde k jeho částečnému zvýšení a ustálení na výkonové hladině ~ 103,5 % nominální hodnoty. Nevytvoří se ani žádný signál RTS.



Obr. 15.31: Výpadek 6 HCČ ze 6 bez ZPRZEN (minimalizace DNBR): Průběh DNBR po výšce horkého proutku v horkém kanálu



Obr. 15.32: Pokles frekvence v síti při práci 6 HCČ bez ZPRZEN (maximalizace tlaku v I.O): Průběhy tlaku v I.O



Obr. 15.33: Pokles frekvence v síti při práci 6 HCČ bez ZPRZEN (maximalizace tlaku v I.O): Průběhy tlaku v parogenerátorech

Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že vlivem události nedochází k porušení palivových proutků. Množství případně vypouštěného média do okolní atmosféry (při dlouhodobém dochlazování) bude podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, takže případné radiologické důsledky událostí výpadku HCČ nebo při poklesu frekvence v síti budou méně nepříznivé, než v případě roztržení potrubí HPK. Jak je doloženo v části 15.1.5, případ roztržení potrubí na HPK splňuje radiologická kritéria pro abnormální provoz.

Celkově lze shrnout, že sledovaná kritéria přijatelnosti pro případ úplné ztráty nuceného průtoku chladiva primárním okruhem nebo pro případ poklesu frekvence v síti byla splněna. Existují přitom varianty, kdy je splnění kritérií přijatelnosti dosaženo i bez uvažování prvního RTS signálu, stejně tak jako varianty, kdy ke splnění kritérií přijatelnosti je uvažování již prvního vytvořeného signálu RTS nezbytné. Rozhodujícím parametrem přitom je minimum DNBR.

15.4.3 Zadření rotoru hlavního cirkulačního čerpadla

Identifikace příčin a popis události

Iniciační událostí je zadření rotoru jednoho hlavního cirkulačního čerpadla. Vzhledem k malé pravděpodobnosti této iniciační události se nepředpokládá současné zadření rotoru více HCČ. Důsledkem je velmi rychlé snížení průtoku chladiva reaktorem, které představuje zhoršení podmínek chlazení aktivní zóny. Snížení průtoku vede současně k růstu střední teploty chladiva, což znamená zvětšení objemu chladiva a růst primárního tlaku, takže může být ohroženo zachování integrity tlakové hranice primárního okruhu.

Z hlediska příčin i následků je velmi podobnou událostí prasknutí hřídele hlavního cirkulačního čerpadla. Rozdíl je v tom, že při prasknutí hřídele HCČ bude oproti zadření rotoru pokles otáček rotoru pomalejší a v důsledku toho bude pomalejší pokles průtoku chladiva aktivní zónou reaktoru. V další fázi události se může po prasknutí hřídele HCČ rotor čerpadla volně otáčet v proudu chladiva. V tom případě může klást proudu menší odpor, takže hlavní cirkulační smyčkou s poruchou HCČ může proudit více chladiva, než

by tomu bylo v případě zadření rotoru HCČ, takže pokles průtoku přes aktivní zónu je větší.

Vzhledem k uvedeným skutečnostem je možno obě události konzervativně pokrýt jedinou analýzou hypotetického případu, který v úvodní části odpovídá zadření rotoru s okamžitým zastavením rotoru HCČ, a po obrácení průtoku v příslušné hlavní cirkulační smyčce se rotor volně otáčí. Z podstaty věci přímo neplyne, že situace, kdy se čerpadlo volně otáčí v proudu chladiva, je méně příznivá než situace, kdy je rotor čerpadla nehybný. Záleží na konkrétním tvaru charakteristik. Při rotaci rotoru může na chladivo v oběžném kole působit odstředivá síla, takže průtok ještě poklesne. Avšak výsledky výpočtu s 5 pracujícími HCČ ve výchozím režimu ukazují, že čerpadlem s obráceným průtokem po zadření prochází za jednotku času více chladiva než čerpadlem, které je odstaveno od výchozího režimu. Z toho je jasné, že modelovaná kombinace iniciačních událostí je skutečně obalová.

Analýzy této události pro různý počet pracujících smyček ve výchozím režimu provedené dříve ukázaly, že nejnepříznivějším případem je zadření rotoru/prasknutí hřídele jednoho HCČ při práci všech HCČ za předpokladu, že výkonové charakteristiky horkého kanálu jsou stejné. Jelikož pro menší počet smyček v provozu se předpokládá uvolnění faktoru horkého kanálu, byl ověřen také případ při počátečním provozu s 5 smyčkami. Výsledkem provedených výpočtů byla identifikace nejméně příznivé varianty, a to zadření rotoru/prasknutí hřídele HCČ při práci všech HCČ se ZPRZEN.

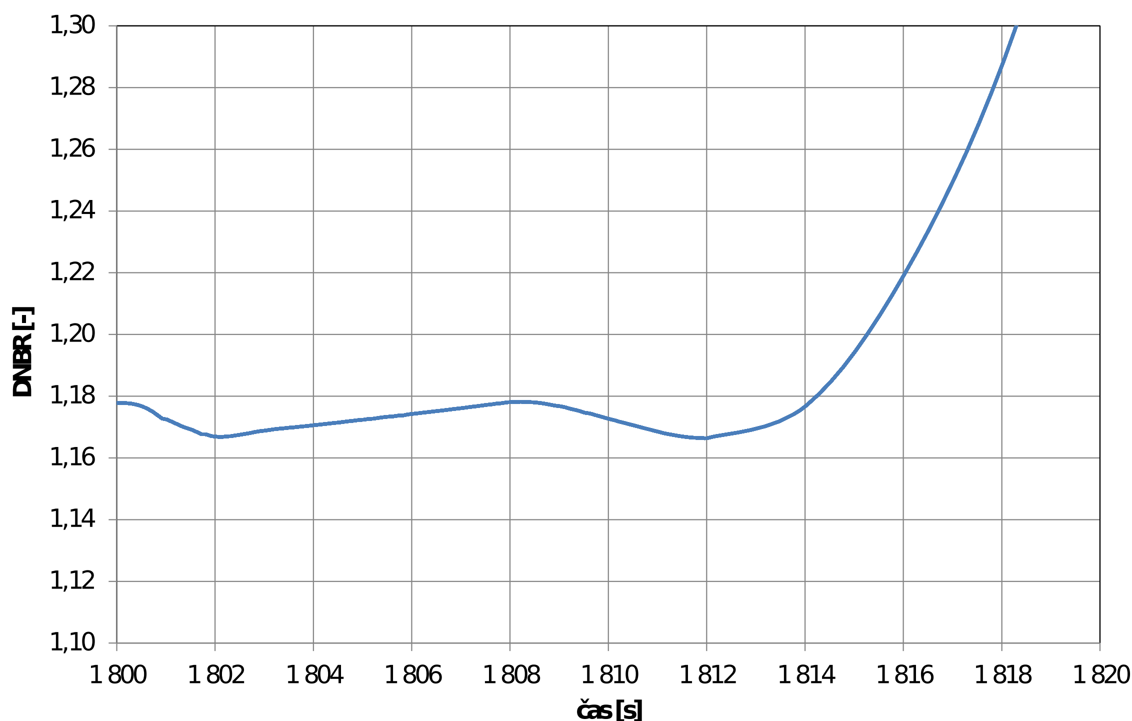
Z hlediska maximálního tlaku chladiva v I.O je zadření rotoru HCČ a prasknutí hřídele HCČ pokryto uzavřením hlavní uzavírací armatury (HUA). Uzavření HUA je sice charakterizováno poněkud pomalejším poklesem průtoku ve smyčkách, avšak HUA zcela zastaví průtok příslušným parogenerátorem a ten je pak zcela zbaven možnosti odvádět teplo z primárního okruhu.

Průběh události a činnost systémů

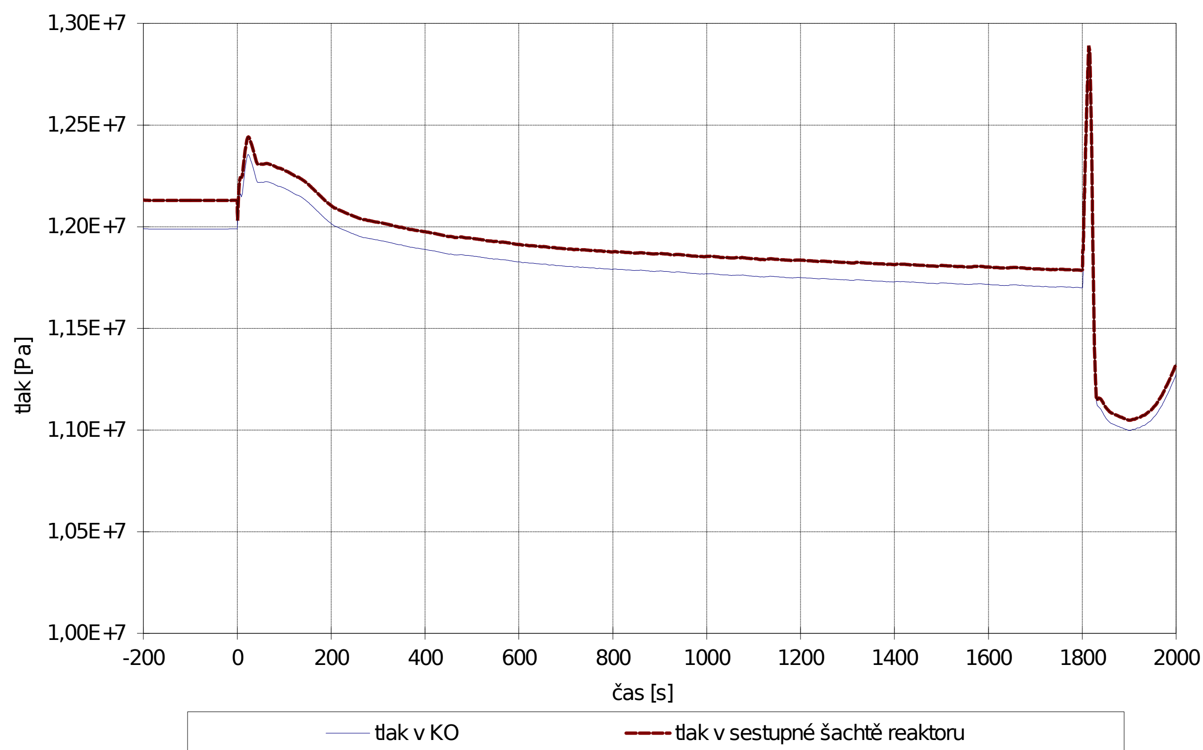
Pokud zapůsobí ochrana motoru zadřeného čerpadla, dojde k jeho odpojení, limitační systém sníží výkon reaktoru na hladinu povolenou pro snížený počet pracujících HCČ. Pokud nezapůsobí ochrana motoru, limitační systém bude snižovat výkon stejným způsobem po signálu od snížení tlakového rozdílu na HCČ.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

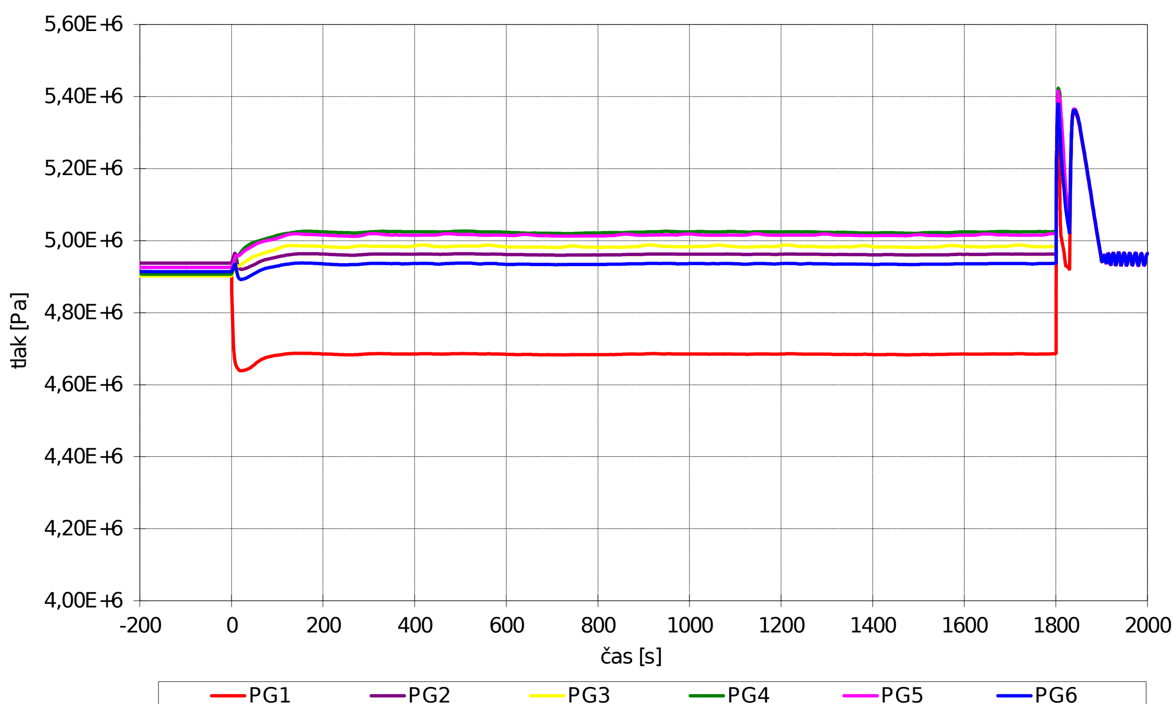
Událost je iniciována jako zadření rotoru jednoho HCČ, přičemž se současně modeluje selhání systému normálního doplňování chladiva a systému elektroohříváků KO. Konzervativně se neuvažuje zapůsobení prvního RTS signálu pro odstavení reaktoru, odstavení je modelováno od poklesu Δp na 4 a více HCČ. Průběh události lze ilustrovat časovým průběhem minima DNBR na obr. 15.34 a maxima tlaků na obr. 15.35, 15.36.



Obr. 15.34: Zadření rotoru / prasknutí hřídele 1 HCČ při práci 6 HCČ: Průběh DNBR po výšce horkého proutku v horkém kanálu



Obr. 15.35: Zadření rotoru / prasknutí hřídele 1 HCČ při práci 6 HCČ: Průběhy tlaku v I.O



Obr. 15.36: Zadření rotoru / prasknutí hřídele 1 HCČ při práci 6 HCČ: Průběhy tlaku v PG

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,166** dosažené v čase 1811,8 s od vzniku události je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **13,0 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 1814,0 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **5,42 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 1805,5 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva **1520 °C** dosažené v čase 0 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje výsledky analýzy zadření rotoru jednoho HCČ pro nominální výkonovou hladinu 1485 MW. Analýza byla zaměřena na plnění kritérií pro havarijní podmínky bez ohledu na splněné kritérium nedosažení krize varu. Všechna sledovaná kritéria byla splněna s velkou rezervou.

Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že vlivem události nedochází k porušení palivových proutků. Množství případně vypouštěného média do okolní atmosféry je podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, takže případné radiologické důsledky událostí zadření rotoru/prasknutí hřídele HCČ budou méně nepříznivé, než v případě roztržení potrubí na HPK. Jak je doloženo v části 15.1.5, případ roztržení potrubí na HPK splňuje radiologická kritéria pro abnormální provoz.

Událost zadření rotoru hlavního cirkulačního čerpadla má, pokud jde o bezpečnostně významné parametry, podobný průběh jako uzavření hlavní uzavírací armatury na hlavní cirkulační smyčce. Z hlediska maximálního tlaku v primárním okruhu je při porovnání obou těchto událostí významné, že při uzavření hlavní uzavírací armatury dojde k úplnému zastavení průtoku v postižené smyčce a tím je z procesu odvodu tepla z primárního okruhu zcela vyřazen jeden parogenerátor, zatímco při zadření rotoru HCČ po obrácení průtoku v postižené smyčce se odpovídající parogenerátor stále ještě může podílet na odvodu tepla z primárního okruhu. Z tohoto důvodu lze konstatovat, že prokázáním splnění kritéria přijatelnosti nepřekročení talku v

I.O pro událost uzavření hlavní uzavírací armatury v části 15.3.5 je prokázáno splnění odpovídajícího kritéria i pro případ zadření rotoru hlavního cirkulačního čerpadla.

Celkově lze shrnout, že sledovaná kritéria přijatelnosti pro případ analyzovaný jako zadření rotoru/prasknutí hřídele HCČ byla splněna.

15.4.4 Prasknutí hřídele hlavního cirkulačního čerpadla

Identifikace příčin a popis události

Iniciační událostí je prasknutí hřídele jednoho hlavního cirkulačního čerpadla. Vzhledem k malé pravděpodobnosti této iniciační události se nepředpokládá současné prasknutí hřídelí více HCČ. Důsledkem je velmi rychlé snížení průtoku chladiva reaktorem, které představuje zhoršení podmínek chlazení aktivní zóny. Snížení průtoku vede současně k růstu střední teploty chladiva, což znamená zvětšení objemu chladiva a růst primárního tlaku, takže může být ohroženo zachování integrity tlakové hranice primárního okruhu.

Z hlediska příčin i následků je velmi podobnou událostí zadření rotoru hlavního cirkulačního čerpadla. Rozdíl je v tom, že při prasknutí hřídele HCČ bude oproti zadření rotoru pokles otáček rotoru pomalejší a v důsledku toho bude pomalejší pokles průtoku chladiva aktivní zónou reaktoru. V další fázi události se může po prasknutí hřídele HCČ rotor čerpadla volně otáčet v proudu chladiva. V tom případě může klást proudu menší odpor, takže hlavní cirkulační smyčkou s poruchou HCČ může proudit více chladiva, než by tomu bylo v případě zadření rotoru HCČ, takže pokles průtoku přes aktivní zónu je větší.

Vzhledem k uvedeným skutečnostem je možno obě události konzervativně pokrýt jedinou analýzou hypotetického případu, který v úvodní části odpovídá zadření rotoru, s okamžitým zastavením rotoru HCČ a po obrácení průtoku v příslušné hlavní cirkulační smyčce se rotor volně otáčí. Takový scénář spojuje rychlejší pokles průtoku AZ odpovídající zadření rotoru a následně nižší průtok přes AZ odpovídající prasknutí hřídele.

Průběh události a činnost systémů

Systém ochrany reaktoru zaznamená prasknutí hřídele jednoho HCČ buď od výpadku jeho elektrického napájení, pokud zapůsobí ochrana motoru, nebo od poklesu tlakového rozdílu na čerpadle. Od tohoto signálu limitační systém sníží výkon na úroveň odpovídající počtu HCČ, která zůstávají v provozu. Jakmile začne působit limitační systém, v regulátoru výkonu turbíny se připojí zesílený záporný korektor, který sníží výkon turbín.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Událost prasknutí hřídele HCČ není analyzována samostatně, ale jako kombinace zadření rotoru/prasknutí hřídele HCČ, takže samotný případ prasknutí hřídele je vyhodnocen prostřednictvím tohoto analyzovaného scénáře.

Vyhodnocení z hlediska minima DNBR (z hlediska maxima tlaku v I.O pokryto případem uzavření hlavní uzavírací armatury):

Při zadření rotoru HCČ je v počátku rozvoje události rychlejší pokles průtoku při prasknutí hřídele zase po obrácení průtoku chladiva postiženou smyčkou může protékat více chladiva a reaktorem pak chladiva protéká méně. Při spojení obou těchto událostí do hypotetické události, která spojuje nepříznivější efekty obou událostí, to znamená, že počáteční pokles průtoku odpovídá zadření a po obrácení průtoku se rotor postiženého čerpadla může volně otáčet a může tak klást proudění menší odpor. Jestliže je pro hypotetickou iniciační událost, spojující nepříznivější jevy dvou podobných událostí a to zadření rotoru HCČ a prasknutí hřídele HCČ, prokázáno splnění kritéria přijatelnosti nedosažení krize varu (minimum DNBR), je tím prokázáno splnění tohoto kritéria i pro samostatnou událost prasknutí hřídele hlavního cirkulačního čerpadla.

15.4.5 Uzavření hlavní uzavírací armatury

Identifikace příčin a popis události

Iniciační událostí je nežádoucí uzavření hlavní uzavírací armatury (HUA) při provozu. Příčinou může být porucha v ovládacích obvodech nebo chybný zásah operátora. Důsledkem je snížení průtoku chladiva reaktorem, které představuje zhoršení podmínek chlazení aktivní zóny. Snížení průtoku vede současně k růstu střední teploty chladiva, což znamená zvětšení objemu chladiva a růst primárního tlaku, takže může být ohroženo zachování integrity tlakové hranice primárního okruhu. K růstu střední teploty chladiva rovněž přispívá zhoršení podmínek odvodu tepla do sekundárního okruhu v důsledku zpomalení až zastavení průtoku v parogenerátoru smyčky, v níž dojde k uzavření HUA.

Z hlediska podmínek chlazení aktivní zóny lze konstatovat, že uzavření HUA vede k podobnému přechodovému procesu jako zadření rotoru hlavního cirkulačního čerpadla anebo prasknutí hřídele hlavního cirkulačního čerpadla. Při uzavření HUA je však pokles průtoku pomalejší a celkový pokles průtoku chladiva přes aktivní zónu reaktoru je menší, protože smyčkou s uzavřenou HUA nemůže proudit žádné chladivo, zatímco při zadření rotoru hlavního cirkulačního čerpadla nebo při prasknutí hřídele hlavního cirkulačního čerpadla postiženou smyčkou částečně chladivo proudí. O toto množství chladiva je pak redukován průtok aktivní zónou reaktoru. Na základě toho je možno konstatovat, že z hlediska chlazení paliva je událost uzavření HUA pokryta událostí zadření rotoru/prasknutí hřídele HCČ.

Jinak je tomu z hlediska tlaku v primárním okruhu. Na rozdíl od zadření rotoru hlavního cirkulačního čerpadla nebo prasknutí hřídele hlavního cirkulačního čerpadla při uzavření HUA dochází nejen k redukci průtoku chladiva reaktorem, ale navíc dochází k úplnému zastavení průtoku chladiva v parogenerátoru postižené smyčky, takže tato se potom vůbec nemůže zúčastnit odvodu tepla do sekundárního okruhu.

Relativní snížení počtu parogenerátorů, které jsou k disposici pro odvod tepla po uzavření HUA, je následující (počet hlavních cirkulačních smyček pracujících ve výchozím režimu/poměrné snížení počtu pracujících smyček po uzavření HUA v jedné pracující smyčce):

6 0,167
5 0,2
4 0,25
3 0,333

Z uvedeného je zřejmé, že největší snížení počtu pracujících smyček pro odvod tepla z primárního okruhu je při uzavření jedné HUA při práci tří smyček. Odpovídající případ při zadření rotoru HCČ by byl zřetelně příznivější, protože iniciační událost by vedla jen s malým zpožděním po vzniku události k rychlému odstavení reaktoru od výpadku 4 a více HCČ.

Z popsaného vyplývá, že nejnepříznivějším případem uzavření HUA z hlediska maximálního tlaku v I.O je uzavření HUA při práci pouze tří hlavních cirkulačních smyček. Před iniciační události jsou přitom HUA v nepracujících smyčkách uzavřeny, takže parogenerátory v nepracujících smyčkách se vůbec nepodílí na odvodu tepla z primárního okruhu.

Událost je zařazena do kategorie abnormální provoz a nepožaduje se pro ni uvažování ZPRZEN. V tomto případě však analýza této události slouží také jako obalová pro zadření rotoru HCČ a prasknutí hřídele HCČ, které jsou zařazeny do kategorie havarijní podmínky s uvažováním ZPRZEN. Proto je i v tomto případě uvažována varianta se ztrátou pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení.

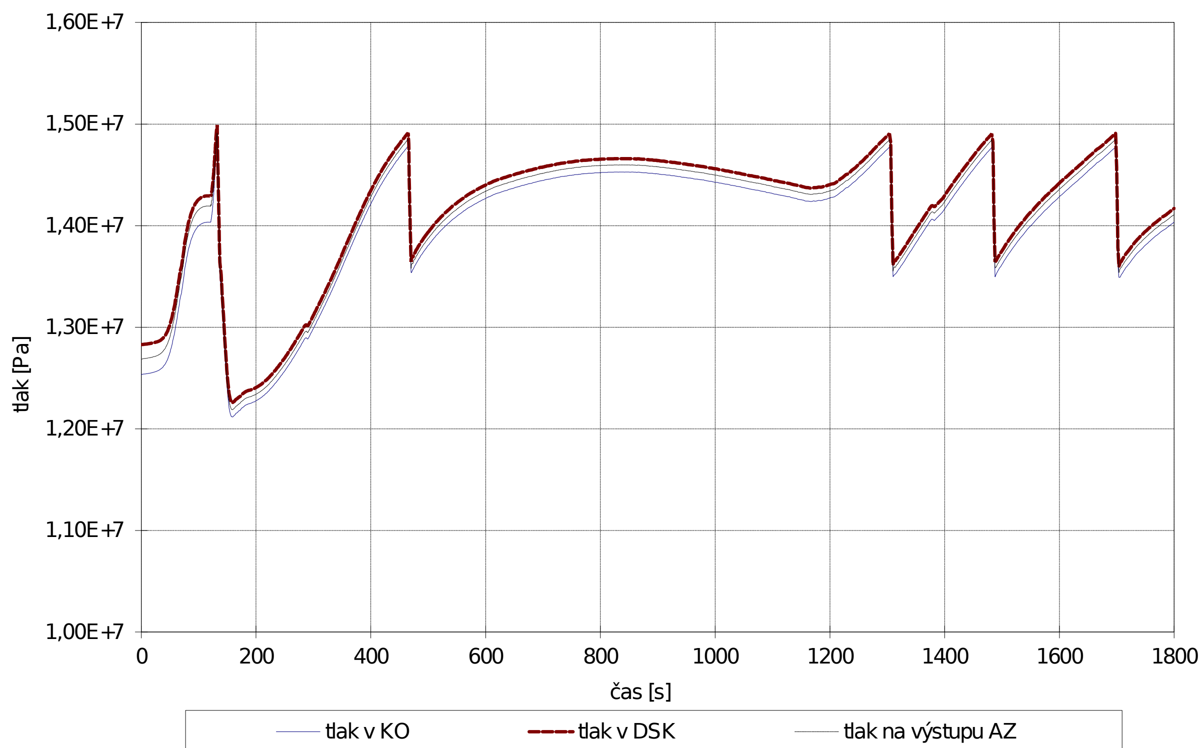
Průběh události a činnost systémů

Hlavní cirkulační čerpadlo ve smyčce s uzavřenou HUA může zůstat v činnosti, a proto řídicí systém v tomto případě nedostane přímý signál o snížení počtu pracujících hlavních cirkulačních smyček. Výkon reaktoru v tomto případě může být snížen

působením zpětných vazeb reaktivity, případně signály od teploty chladiva primárního okruhu na výstupu z reaktoru nebo od tlaku v I.O.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Událost je modelována jako uzavření hlavní uzavírací armatury na jedné smyčce I.O při třech pracujících smyčkách a odpovídajícím maximálním dovoleném výkonu, současně se modeluje selhání systému odpouštění a sprchování KO. Zablokován v uzavřené poloze je rovněž ventil na trase z KO do barbotážní nádrže. Uvažuje se ZPRZEN, konzervativně se neuvažuje první signál pro rychlé odstavení reaktoru, reaktor je odstaven od 2. signálu od výpadku 4 a více HCČ. Průběh události lze charakterizovat průběhem maxima tlaku v I.O na obr. 15.37.



Obr. 15.37: Uzavření HUA při provozu 3 smyček se ZPRZEN (maximalizace tlaku v I.O): Průběhy tlaku v I.O

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,341** dosažené v čase 128,2 s od vzniku události je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **14,99 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 132,0 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **5,92 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 140,0 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva nepřevýší počáteční hodnotu, kritérium přijatelnosti je splněno.

Iniciační událost uzavření hlavní uzavírací armatury má ve svých důsledcích z hlediska DNBR podobný charakter jako zadření rotoru hlavního cirkulačního čerpadla nebo také prasknutí hřídele hlavního cirkulačního čerpadla. Avšak při zadření rotoru hlavního cirkulačního čerpadla nebo i prasknutí hřídele hlavního cirkulačního čerpadla je pokles průtoku aktivní zónou rychlejší a v absolutní hodnotě také větší, protože dojde k obrácení průtoku v postižené smyčce. Z toho vyplývá, že pokud je kritérium přijatelnosti nedosažení krize varu splněno v analýze zadření rotoru/prasknutí hřídele hlavního

cirkulačního čerpadla, je tím splněno i pro případ uzavření hlavní uzavírací armatury. Výše uvedené výsledky pro DNBR při zavření HUA takové závěry podporují.

Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že vlivem události nedochází k porušení palivových proutků. Množství případně vypouštěného média do okolní atmosféry je podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, takže případné radiologické důsledky uzavření HUA budou méně nepříznivé, než v případě roztržení potrubí na HPK. Jak je doloženo v části 15.1.5, případ roztržení potrubí na HPK splňuje radiologická kritéria pro abnormální provoz.

Celkově lze shrnout, že sledovaná kritéria přijatelnosti pro případ uzavření hlavní uzavírací armatury byla splněna.

15.4.6 Snížení průtoku chladiva palivovou kazetou

Identifikace příčin a popis události

Typickou příčinou vzniku události je možná přítomnost nečistot (drobných částí) v chladivu primárního okruhu, které se mohou vyskytovat zejména po výměnách paliva nebo údržbových činnostech. Mohou způsobit snížení nebo úplné blokování průtoku chladiva kazetou a tím vyvolat náhlou disproporci mezi produkcí tepla v palivové kazetě a jeho odvodem z kazety. Důsledkem toho je lokální zvýšení teploty chladiva, pokrytí palivových proutků a následně pokles DNBR. Charakteristické je přitom také dvoufázové proudění v palivové kazetě, přičemž dopad na chování bloku jako celku zůstává nevýznamný.

Průběh události a činnost systémů

Kromě zajištěné čistoty chladiva primárního okruhu existují další okolnosti, omezující možnosti vniknutí nečistot (drobných částí) na vstup palivových kazet, a tím částečného nebo úplného blokování průtoku chladiva jednotlivými palivovými kazetami.

Před vstupem do pracovních palivových kazet musí projít chladivo perforovaným dnem šachty reaktoru, v němž se nachází otvory o průměru 40 mm, dále pak dolní mříží dna nosného válce, kde se mezi ochrannými troubami nachází opět otvory (vnitřní průměr nátrubku pracovní palivové kazety je 96 mm). Vlastní vstup do palivových kazet je zajištěn 312 otvory v horní mříži dna nosného válce. Dalších 37 otvorů v horní mříži slouží pro upevnění ochranných trub HRK.

V horní a dolní části obálky pracovní kazety v oblasti hlavice a koncovky jsou otvory o průměru 9 mm (po dvou na každé stěně) určené k radiálnímu odlehčení obálky od tlakového spádu v chladivu v případě vzniku maximální projektové nehody, spojené s prasknutím potrubí o průměru ~ 500 mm. Při blokování průtoku chladiva v oblasti koncovky mohou tyto otvory v dolní části kazety poskytnout průtok palivovou kazetou kolem 6,6 % nominální hodnoty.

Konstrukce palivové části HRK je odlišná od konstrukce pracovní kazety zejména v dolní části, kde má palivová část HRK brzdicí mechanizmus, zajišťující brždění kompletu při pádu absorbční částí do aktivní zóny. Princip brždění je založen na škrcení chladiva mezerami, vytvořenými mezi tyčí umístěnou na dně šachty reaktoru a brzdicím zvonem koncovky palivové části HRK v okamžiku dosedání zvonu na tyč. Vstup do kanálů HRK je v dolní části dvojitých ochranných trub realizován otvory o průměru 30 mm u vnější a 20 mm u vnitřní trubky.

Pokud by přes uvedená konstrukční omezení došlo k částečnému nebo omezenému blokování průtoku chladiva jednotlivou kazetou, byla by tato skutečnost u kazet vybavených termočlánky identifikována nejpozději při překročení limitní teploty na výstupu z palivové kazety, u kazety nevybavené termočlánkem pak při výraznějším blokování průtoku na základě odpovídajícího přerozdělení výkonu i v okolních kazetách obdobně, jako v případě chybně zavezené kazety, analyzované v části 15.4.7. K případnému překročení kritérií přijatelnosti by mohlo dojít až při málo pravděpodobném extrémně vysokém podílu blokování průtoku chladiva kazetou. Takové blokování by řadilo událost k nadprojektovým nehodám.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Byla provedena řada subkanálových výpočtů pro zjištění, za jakých podmínek blokování průtoku chladiva kazetou mohou být sledovaná kritéria přijatelnosti pro abnormální provoz i havarijní podmínky splněna. Bylo zjištěno a výpočty doloženo, že u horké kazety bez zpětné vazby platí:

V případě, že nedojde k blokování průtoku palivovou kazetou pod 95 % nominální hodnoty průtoku, bude splněno kritérium pro abnormální provoz nedosažení krize varu (dosažené minimum DNBR 1,135 oproti limitní hodnotě 1,126), přičemž radiologické důsledky nevybočí z podmínek normálního provozu. Při poklesu průtoku na hodnotu 50 % nominálního průtoku palivovou kazetou je splněno kritérium nedosažení teploty tavení paliva (dosažené maximum 2417 °C oproti limitní hodnotě 2480 °C). Při poklesu průtoku na hodnotu 55 % nominálního průtoku palivovou kazetou je kritérium nepřekročení limitní teploty pokrytí palivového proutku (357 °C oproti limitu 1200 °C) ještě splněno (při dalším snížení průtoku o 5% teplota pokrytí dosáhne limitní hodnoty 1200 °C).

Se zahrnutím vlivu zpětné vazby jsou všechna uvažovaná kritéria splněna ještě při 15% nominálním průtoku kazetou. Radiologické důsledky zablokování jednotlivé palivové kazety nebudou nepříznivější než v případě prasknutí parovodu, tudíž splní kritéria přijatelnosti pro abnormální provoz.

15.5 Anomálie reaktivity a distribuce výkonu

Neřízené změny reaktivity mohou být vyvolány chybným přemístěním nebo vystřelením HRK, změnou koncentrace kyseliny borité nebo vtokem chladiva o snížené teplotě (případně koncentraci kyseliny borité) do aktivní zóny. Změny v rozložení výkonu mohou nastat chybným přemístěním nebo vystřelením HRK nebo chybným umístěním palivových kazet do aktivní zóny při překládkách nebo zavážení paliva. Události, které vedou k neřízeným změnám reaktivity a/nebo k neřízeným změnám v distribuci výkonu v aktivní zóně, jsou tvořeny následujícími skupinami:

15.4.1 Neřízené vysouvání regulačních kazet z aktivní zóny v podkritickém stavu nebo na malých výkonových hladinách při spouštění

15.4.2 Neřízené vysouvání regulačních kazet z aktivní zóny při určitých výkonových hladinách

15.4.3 Chybná činnost řídicích orgánů:

- Pád jedné HRK
- Neúmyslné vysunutí jedné HRK pracovní skupiny
- Staticky chybná pozice jedné HRK pracovní skupiny

15.4.4 Nesprávné připojení odstavené smyčky primárního okruhu

15.4.5 Chybné funkce nebo poruchy regulátoru průtoku ve smyčkách BWR (netýká se EDU - nehodnoceno)

15.4.6 Chybná funkce systému normálního doplňování a bórové regulace, která vede ke snížení koncentrace kyseliny borité v chladivu primárního okruhu

15.4.7 Neúmyslné zavezení a provoz palivové kazety v nesprávném místě aktivní zóny

15.4.8 Spektrum nehod s vystřelením řídicích orgánů

15.4.9 Spektrum nehod s vypadnutím řídících orgánů v BWR (netýká se EDU - nehodnoceno)

Anomálie reaktivity a distribuce výkonu zahrnují jak události abnormálního provozu, tak havarijní podmínky. Proto jsou aktuální jak kritéria prokazující nedosažení krizových podmínek přestupu tepla, tak kritéria prokazující přijatelný rozsah poškození aktivní zóny nepřekročením stanovené entalpie paliva. V obou případech pak jsou sice aktuální kritéria nepřekročení limitních tlaků v primárním a sekundárním okruhu, která jsou číselně shodná pro abnormální provoz i havarijní podmínky, avšak u žádné z událostí této skupiny se neočekává, že by vedla k jejich porušení. Je to dáno především tím, že převážná část procesů uvažovaných událostí je omezena na oblast aktivní zóny, ať již z důvodu rychlosti průběhu nebo z důvodu statických, časově nezávislých změn parametrů aktivní zóny.

Pokud jsou u události zařazené mezi havarijní podmínky splnitelná kritéria přijatelnosti pro abnormální provoz, je událost hodnocena jako abnormální provoz s tím, že ze splnění kritérií pro abnormální provoz plyne i splnění kritérií pro havarijní podmínky, odpovídajících této události. Některé z událostí jsou hodnoceny pomocí statických výpočtových metod, protože buď nemají charakter přechodového procesu, nebo je průběh procesu takový, že jej lze popsat jako posloupnost (quasi)stacionárních stavů, u některých událostí byly využity výsledky analýz dodavatele paliva.

Pro havarijní podmínky je konzervativně vyhodnocen počet porušených palivových proutků, který pak slouží jako podklad pro hodnocení radiologických důsledků dané události.

15.5.1 Neřízené vysouvání regulačních kazet z aktivní zóny v podkritickém stavu nebo na malých výkonových hladinách při spouštění

Identifikace příčin a popis události

U aktivní zóny nacházející se v podkritickém stavu se celkem nijak moc neprojeví ani vysoká rychlost zavádění reaktivity, ani celková hodnota zavedené reaktivity, pokud přitom zůstane aktivní zóna v dostatečně podkritickém stavu. Takovými stavy jsou všechny režimy, při kterých je v I.O nastavena odstavná koncentrace kyseliny borité. Při přibližování se kritickému stavu pak nastane okamžik, kdy se perioda reaktoru dostane do kladných hodnot a jaderný výkon začne narůstat. Z toho plyne, že neřízené vysouvání skupiny HRK, které by reaktor přivedlo do nadkritického stavu, je možné prakticky pouze z kritického stavu (nebo velmi blízkého kritickému), při kterém již všechny skupiny HRK (kromě pracovní) musí být vytaženy z aktivní zóny reaktoru. Po dosažení kritického stavu se jedná už jednoznačně o růst výkonu, vyvolaný kladnou hodnotou reaktivity. Protože až tato fáze představuje potenciální možnost vzniku nepřijatelných přechodových procesů vyvolaných kladnými změnami reaktivity, vycházejí analýzy z kritického stavu aktivní zóny.

Při ručním řízení, jakým je spouštění reaktoru, existují pouze hypotetické příčiny pro neřízené vysouvání skupiny HRK. Zejména etapa dosahování kritického stavu je neustále pod kontrolou operátora, a kdyby došlo v této etapě k jakémukoliv neřízenému vysouvání skupiny HRK, bylo by okamžitě zafixováno a přerušeno buď ochranou reaktoru, nebo operátorem předtím, než by došlo k nebezpečnému stavu pro aktivní zónu. Jedná se zejména o různé stupně limitačních funkcí reaktoru až po RTS, jejichž působení může být vyvoláno překročením neutronového výkonu, rychlosti jeho růstu, překročením teploty chladiva na výstupu z reaktoru nebo překročením tlaku v primárním okruhu. Vysouvání je přerušeno po zapůsobení ochrany reaktoru, která vyvolá přerušení napájení pohonů v několika místech.

Vzhledem k počátečnímu nulovému nebo téměř nulovému výkonu je charakteristický pro tento proces počáteční výkonový růst bez kompenzace zpětnými vazbami reaktivity s následným vytvořením ostrého výkonového maxima. V důsledku tohoto výkonového růstu se rychle zvýší teploty (zejména v palivu), které svými zpětnovazebními účinky způsobí prudký pokles výkonu. Kromě těchto samoregulačních vlastností aktivní zóny mohou účinně zapůsobit ochrany reaktoru a zajistit tak průběh procesu bez poškození palivových proutků. Vyšší hodnoty počátečního výkonu reaktoru vedou k dřívějšímu působení zpětných vazeb, ke snižování dosaženého maxima výkonu a následně k příznivějším výsledkům u sledovaných parametrů.

Průběh události a činnost systémů

Aby k nepřijatelným průběhům spojeným s neřízeným vysouváním regulačních kazet nemohlo docházet, musí být jako nutné podmínky splněny požadavky ruského projektanta VVER 440. Mezi nimi je požadováno, že zvyšování reaktivity prostředky ovlivňujícími reaktivitu nesmí být větší než 0,07 β/s, kde β je efektivní podíl zpožděných neutronů. Dále se požaduje, aby při celkové účinnosti vysouvaných regulačních orgánů

větší než 0,7 β (takovou celkovou účinností se skupiny HRK u EDU vyznačují) byla kladná reaktivita zaváděna po krocích. Velikost tohoto kroku přitom nesmí převýšit 0,3 β.

Uvedené požadavky jsou částečně splněny už návrhem a konstrukcí HRK a rychlostí jejich přemisťování při vysouvání, částečně pak striktním algoritmem vysouvání skupin HRK po krocích se zadanou prodlevou (výdrží) tak, aby zavedená reaktivita v jednom kroku splňovala výše uvedené omezení a současně aby bylo zjistitelné případné neočekávané dosažení kritického stavu. Toto omezení je důležité zejména ve fázi „nekontrolovaného stavu“, kdy ještě růst výkonu nelze kontrolovat prostřednictvím periody.

Ve spouštěcím intervalu (od kef≥0,99) je vesměs reaktor už „kontrolovatelný“. Mimo spouštěcí interval je délka kroku při vysouvání HRK o něco delší než ve spouštěcím intervalu, kde je potenciální možnost dřívějšího dosažení kritického stavu. Mimo spouštěcí interval je prodleva definována přímo časovým intervalem, ve spouštěcím intervalu (při kontrolovaném reaktoru) se požaduje ustálení periody na nekonečnu před dalším krokem vysouvání. Pokud je reaktor nekontrolovaný i ve spouštěcím intervalu, je taktéž předepsána časová prodleva, která je ovšem delší, než mimo spouštěcí interval. Pro kontrolovaný reaktor je současně stanovena nejnižší dovolená hodnota periody, která nesmí být překročena (60 s).

Uvedená omezení ve svých důsledcích znamenají:

- zajištění přijatelné rychlosti růstu jaderného výkonu,
- zajištění spolehlivé činnosti regulace a ochran reaktoru,
- omezení celkové hodnoty reaktivity zavedené při jednom souvislém vysouvání regulačních kazet, které znemožňuje vytvoření kritického stavu na okamžitých neutronech.

Tato omezení se uplatňují v součinnosti s dalšími omezeními a opatřeními, zabraňujícími nekontrolovanému zvýšení reaktivity, jako je zákaz zavádění kladné reaktivity kombinací dvou a více způsobů nebo předem stanovený algoritmus vysouvání jednotlivých skupin regulačních kazet, který zajišťuje jednoznačně definované hodnoty zavádění kladné reaktivity a ve výkonových stavech rozložení výkonu vyhovující požadavkům návrhu palivové vsázky.

Pokud je reaktor kontrolovaný (ve smyslu Limitů a podmínek), je perioda růstu výkonu spolehlivým parametrem, umožňujícím kontrolovat a řídit přijatelnost všech přechodových procesů, spojených s kladnými změnami reaktivity. Perioda je také velmi citlivým parametrem změn reaktivity a zejména u kritického stavu reaktoru bez výkonu, kdy ještě nepůsobí zpětné vazby reaktivity, může při růstu reaktivity (např. právě při vysouvání regulačních kazet) docházet k jejímu velmi rychlému poklesu v krajním případě až k nastaveným hodnotám pro zapůsobení limitačního systému nebo ochran reaktoru. Udržování periody nad stanovenou hodnotou tak zajišťuje, že bude účinně bráněno nechtěným případům rychlého odstavení reaktoru působením jeho ochran.

Omezení rychlosti zavádění kladné reaktivity má dvojí účel: jednak přímé omezení rychlosti následného růstu výkonu, jednak omezení celkové hodnoty zavedené reaktivity, nevykompenzované k danému časovému okamžiku zpětnými vazbami. Tento druhý účel je primární právě ve stavu aktivní zóny na nulovém výkonu, kdy k růstu reaktivity může docházet po poměrně dlouhou dobu, než se projeví zpětné vazby reaktivity. V krajním případě by mohlo dojít až ke kritičnosti na okamžitých neutronech dříve, než by účinky zpětných vazeb reaktivity nebo i působení ochrany reaktoru náležitým způsobem reaktivitu zredukovaly.

Pokud by při vysouvání regulačních kazet působily zpětné vazby vždy a okamžitě, pak by se průběh přechodového procesu při zavádění kladné reaktivity mohl řídit pouze změnou periody reaktoru. Problém je ale ve zpožděném působení zpětných vazeb a případně ve zpožděném účinku ochran reaktoru, což by mohlo vést k nepřijatelným přechodovým procesům zejména u výchozího nulového výkonu reaktoru. Omezení na hodnotu rovnou 30 % podílu zpožděných neutronů (0,3β) při jednom souvislém kroku nemusí sice zabránit vzniku signálu pro rychlé odstavení reaktoru, nachází se ale s

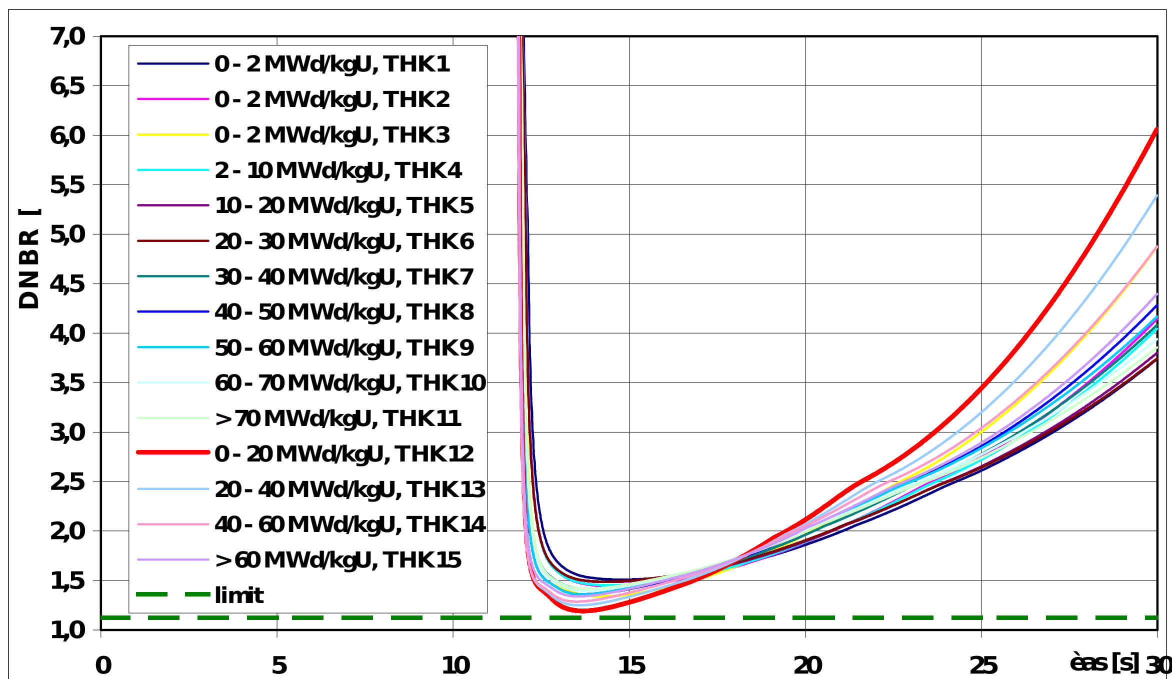
dostatečnou rezervou od hodnoty, která by mohla znamenat kritičnost na okamžitých neutronech.

Jakmile dojde ke zvyšování parametrů paliva (chladiva), má uvažovaný proces velmi rychle se omezující průběh, a to i bez zásahu ochran reaktoru. V principu však působení ochran reaktoru je potřebné, aby ani při nejnepříznivějších kombinacích parametrů, které vedou k nejnepříznivějšímu průběhu procesu, nemohlo dojít k porušení paliva (aby byl proces bezpečně ukončen). Důsledky neregulovaného vysouvání skupiny regulačních kazet budou omezovány a udržovány v přijatelných mezích některou z limitačních nebo ochranných funkcí, působících od fyzikálních parametrů (výkonu a jeho změny, tlaku, teploty, atd.).

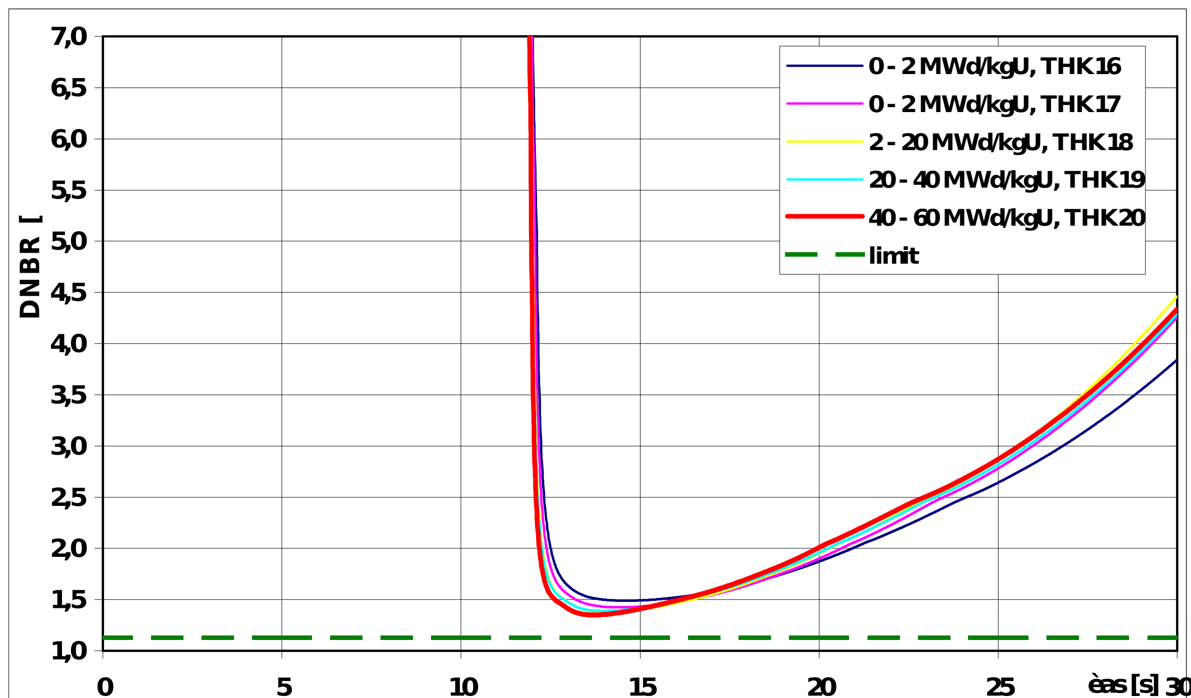
Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Pro ověření kritéria nedosažení krize varu byla událost modelována při počátečním výkonu 1.10^{-7} % nominální hodnoty, s rychlostí zvyšování reaktivity 0,07 β/s a se třemi hlavními cirkulačními smyčkami v provozu. K odstavení reaktoru dochází od dosažení odpovídající hodnoty nastavení výkonu při spouštění, neuvažuje se signál od překročení rychlosti růstu výkonu. Průběh procesu lze ilustrovat časovým průběhem minima DNBR (mnohokanálová reprezentace) na obr. 15.38.

Pro ověřování kritérií nepřekročení tlaků byla událost modelována při počátečním výkonu 1 % nominální hodnoty, s rychlostí zvyšování reaktivity 0,009 β/s a se třemi hlavními cirkulačními smyčkami v provozu. K odstavení reaktoru došlo od signálů od vysokého výkonu a od vysokého tlaku v I.O, které vznikly téměř současně. Průběh procesu lze ilustrovat časovým průběhem maxima tlaků na obr. 15.39, 15.40.



Obr. 15.38a: Neřízené vysouvání pracovní skupiny HRK při spouštění (minimalizace DNBR): Časový průběh minima DNBR, horké kanály bez Gd



Obr. 15.38b: Neřízené vysouvání pracovní skupiny HRK při spouštění (minimalizace DNBR): Časový průběh minima DNBR, horké kanály s Gd

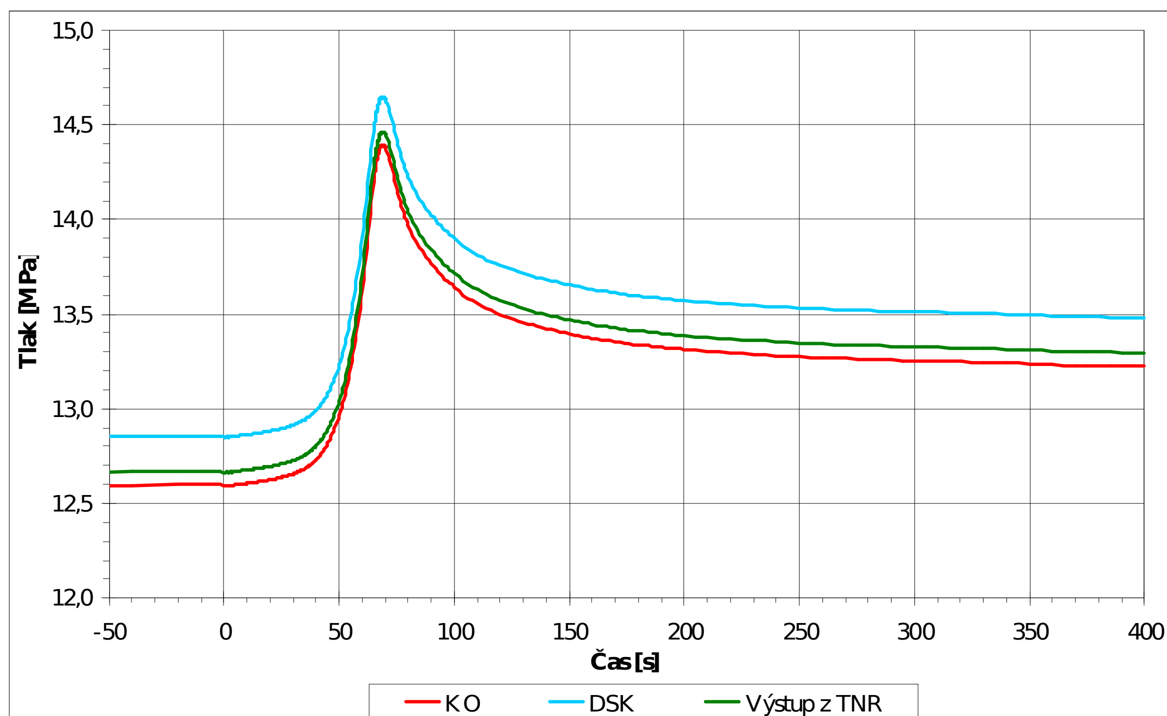
Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,193/1,350** dosažené v čase 13,66/13,71 s od vzniku události (pro proutky bez Gd/s Gd) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

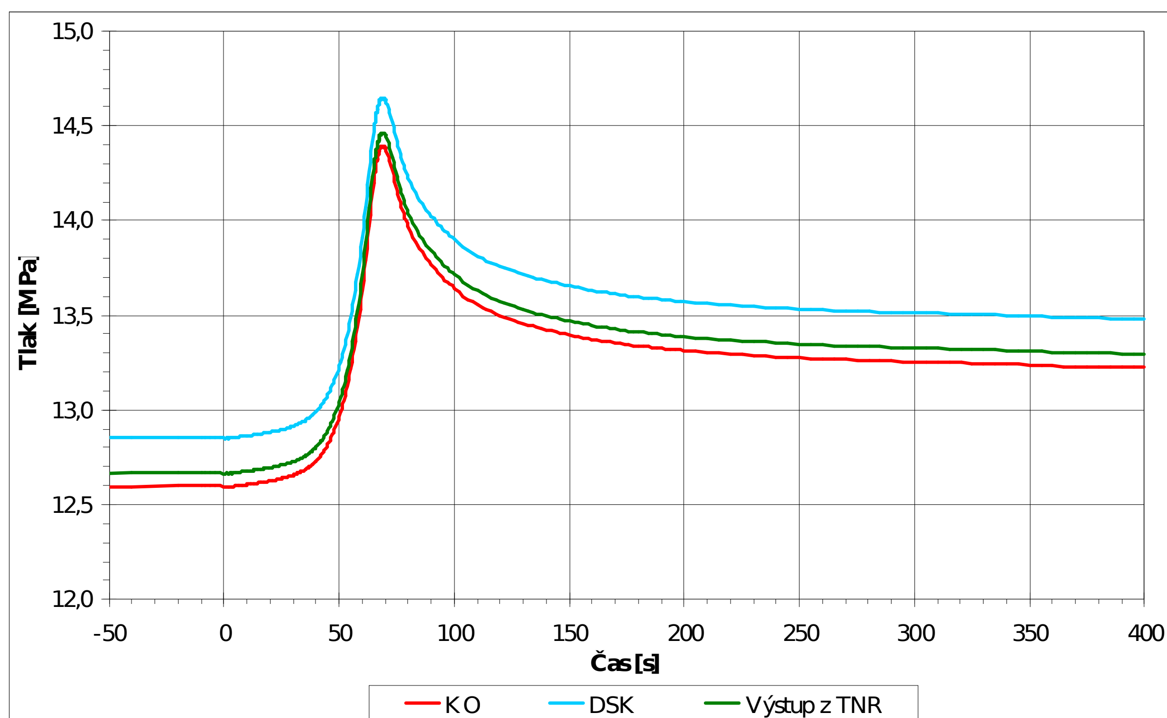
Maximum tlaku **14,65 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 68,8 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **5,86 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 71,4 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva **1155 °C/1162 °C** dosažené v čase 15,63/15,43 s od vzniku události (pro proutky bez Gd/s Gd) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.



Obr. 15.39: Neřízené vysouvání pracovní skupiny HRK při spouštění (maximalizace tlaku v I.O): Tlaky v primárním okruhu



Obr. 15.40: Neřízené vysouvání pracovní skupiny HRK při spouštění (maximalizace tlaku v I.O): Tlaky v primárním okruhu

Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje výsledky analýzy nekontrolovaného vysouvání pracovní skupiny HRK při nulovém výkonu reaktoru (= 14,5 MW) pro dvě varianty výchozích předpokladů: minimalizující DNBR a maximalizující tlak chladiva v I.O. Výpočty potvrdily splnění všech sledovaných kritérií přijatelnosti.

Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že vlivem události nedochází k porušení

palivových proutků. K vypouštění média do okolní atmosféry buď nedochází vůbec, nebo je podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, takže případné radiologické důsledky události neřízeného vysouvání HRK při spouštění budou podstatně příznivější, než v případě roztržení potrubí na HPK. Jak je doloženo v části 15.1.5, případ roztržení potrubí na HPK splňuje radiologická kritéria pro abnormální provoz.

Celkově lze shrnout, že sledovaná kritéria přijatelnosti pro případ neřízeného vysouvání skupiny HRK při spouštění byla splněna.

Pozn.: V mnohokanálové reprezentaci jsou specifikovaným horkým kanálům přiřazeny charakteristiky, které přibližně odpovídají vyhoření, uvedenému v legendě ke kanálu.

15.5.2 Neřízené vysouvání regulačních kazet z aktivní zóny při určitých výkonových hladinách

Identifikace příčin a popis události

Událost je definována jako vytažení skupiny regulačních kazet při provozu reaktoru na výkonu. V takovém provozním stavu musí být ovšem všechny regulační skupiny, až na skupinu pracovní, zcela vytaženy z aktivní zóny. Pracovní skupina je za normálního provozu zpravidla zasunuta do polohy, vymezené dovoleným pásmem, umožňující nevelké změny reaktivity. Poloha pracovní skupiny HRK je zobrazována na řídicím pultu operátora a ten má povinnost udržovat její polohu v dovoleném pásmu pomocí systému bórové regulace. Těmito opatřeními jsou značně omezeny možné nepříznivé důsledky neřízeného vysouvání pracovní skupiny HRK.

Pokud k neúmyslnému vysouvání pracovní skupiny HRK dojde, její další pohyb bude zastaven některým ze signálů pro ochranu reaktoru, který způsobí přerušení napájení pohonů v několika místech a následný pád HRK (jedné skupiny nebo v krajním případě všech) do aktivní zóny.

Průběh události a činnost systémů

Průběh následného přechodového procesu je kvalitativně odlišný od průběhu procesu při nulovém výchozím výkonu zásluhou zpětných vazeb reaktivity, které v tomto případě působí od samého počátku. Zaváděná kladná reaktivita je tak průběžně, i když s určitým zpožděním, těmito zpětnovazebními účinky kompenzována, takže růst výkonu není tak rychlý a nedochází zpravidla ani k vytváření výrazně vysokých výkonových maxim. Pokud je rychlost zavádění reaktivity malá (nízká diferenciální účinnost vysouvané skupiny), dochází dokonce k určitému vyváženému zvyšování výkonu, kopírujícímu rychlost zvyšování reaktivity. Výsledná reaktivita je pak malá kladná hodnota, takže výkon vzrůstá monotónně až do případného dosažení nastavených hodnot pro zapůsobení ochran reaktoru.

Pokud by k vysouvání regulační skupiny došlo v blízkosti její krajní horní polohy, je v principu možné, že samotné zpětnovazební účinky budou postačující pro takové omezení procesu, aby nedošlo k poškození palivových proutků. Obdobnou schopnost samoregulace lze očekávat i při nižších výkonových hladinách a hlubším zasunutí pracovní skupiny HRK, pokud rychlost zvyšování reaktivity bude malá. Obecně se však předpokládá zapůsobení ochran reaktoru, které definitivně ukončí průběh procesu a zabrání poškození palivových proutků.

Uvažovaný proces může mít tedy analogicky rychlý průběh jako v případě nulového počátečního výkonu reaktoru, nebo může být výrazně pomalejší, v každém případě je avšak růst výkonu spíše lineární než exponenciální. Působení ochran je obecně nutné, aby byl proces bezpečně ukončen. Důsledky neregulovaného vysouvání skupiny regulačních kazet budou omezovány a udržovány v přijatelných mezích některou z limitačních nebo ochranných funkcí, působících od fyzikálních parametrů (výkonu a jeho změny, tlaku, teploty, atd.).

Významným odlišovacím faktorem nekontrolovaného vysouvání skupiny HRK je v tomto případě uvažovaná počáteční výkonová hladina a odpovídající nastavení pro RTS.

Největší rozdíl mezi nastavenou hodnotou a nejnižším výkonem, při kterém se může reaktor vůči tomuto nastavení nacházet, je dán automatickým přestavováním nastavení při poklesu výkonu. Vyjádřeno v procentech k nominální hodnotě je tento rozdíl největší pro nejvyšší nastavení a snižuje se při snižování výkonu až k několika procentům při výkonu pod 10 %. Na druhé straně však roste poměr mezi nastavením a nejnižším odpovídajícím výkonem, což při stejné rychlosti růstu výkonu (periodě) znamená při nižších výkonech delší čas k dosažení hodnoty nastavení. K prodlužování doby do dosažení hodnot nastavení výkonu přispívají také silné zpětné vazby reaktivity a menší rychlost zvyšování reaktivity.

Při zvyšování výkonu obsluha povoluje zvýšení nastavení (přechod na vyšší mez) po dosažení stanovené výkonové hladiny. V těchto případech je rozdíl mezi nejnižším výkonem a odpovídajícím nastavením celkem stabilní v rozsahu výkonů nad 20 % nominální hodnoty a činí ~ 26 % nominální hodnoty výkonu (poměr v tomto případě s klesajícím výkonem roste). Při nižších výkonech se rozdíl zmenšuje.

Při vyšších výkonových hladinách, kdy se pracovní skupina může nacházet v relativně vysoké poloze, takže celková uvolněná reaktivita při jejím úplném vysunutí je relativně malá, mohou obzvlášť silné zpětné vazby udržet výkon na úrovni, kdy se vůbec hodnoty nastavení nemusí dosáhnout. Takové případy, stejně jako případy s účinným omezením růstu výkonu řídicím systémem, nepředstavují z hlediska sledovaných kritérií přijatelnosti potenciální nebezpečí jejich nesplnění.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Pro ověření kritéria nedosažení krize varu byla událost modelována při počátečním výkonu 104 % nominální hodnoty, s rychlostí zvyšování reaktivity 0,07 β/s. K odstavení reaktoru dochází od dosažení odpovídající hodnoty nastavení výkonu, neuvažuje se signál od rychlosti růstu výkonu. Průběh procesu lze ilustrovat časovým průběhem minima DNBR (mnohokanálová reprezentace) na obr. 15.41 a maxima teploty paliva na obr. 15.42.

Pro ověřování kritérií nepřekročení tlaků byla událost modelována při počátečním výkonu 96 % nominální hodnoty, s rychlostí zvyšování reaktivity 0,005 β/s. K odstavení reaktoru došlo od signálů od vysokého výkonu a od vysokého tlaku v I.O, které vznikly téměř současně. Průběh procesu lze ilustrovat časovým průběhem maxima tlaků na obr. 15.43, 15.44.

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,154/1,154** dosažené v čase 2,51/2,53 s od vzniku události (pro proutky bez Gd/s Gd) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **14,27 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 44,6 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **5,87 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 56,0 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

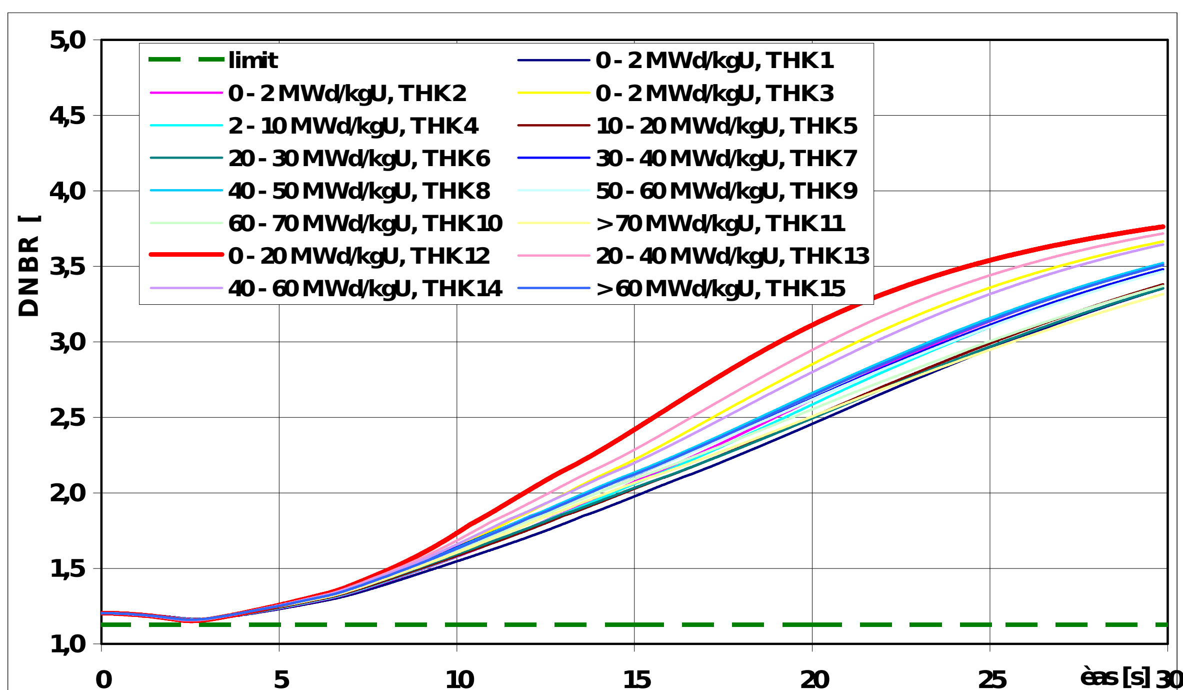
Maximum teploty paliva **2075 °C/1953 °C** dosažené v čase 3,0/3,0 s od vzniku události (pro proutky bez Gd/s Gd) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje výsledky analýzy nekontrolovaného vysouvání pracovní skupiny HRK při plném výkonu reaktoru pro dvě varianty výchozích předpokladů: minimalizující DNBR a maximalizující tlak chladiva v I.O. Výpočty potvrdily splnění všech sledovaných kritérií přijatelnosti.

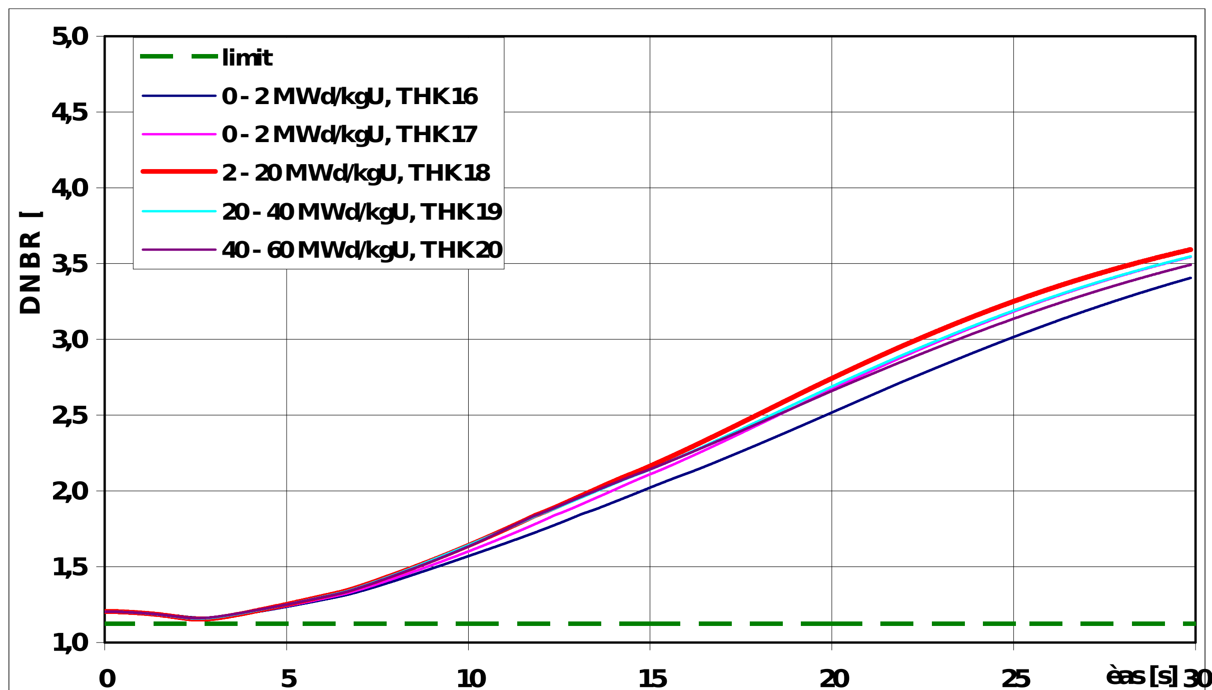
Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že vlivem události nedochází k porušení palivových proutků. Množství případně vypouštěného média do okolní atmosféry je podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, takže případné radiologické důsledky události nekontrolovaného vysouvání skupiny HRK při různých výkonových hladinách budou méně nepříznivé, než v případě roztržení potrubí na HPK. Jak je doloženo

v části 15.1.5, případ roztržení potrubí na HPK splňuje radiologická kritéria pro abnormální provoz.

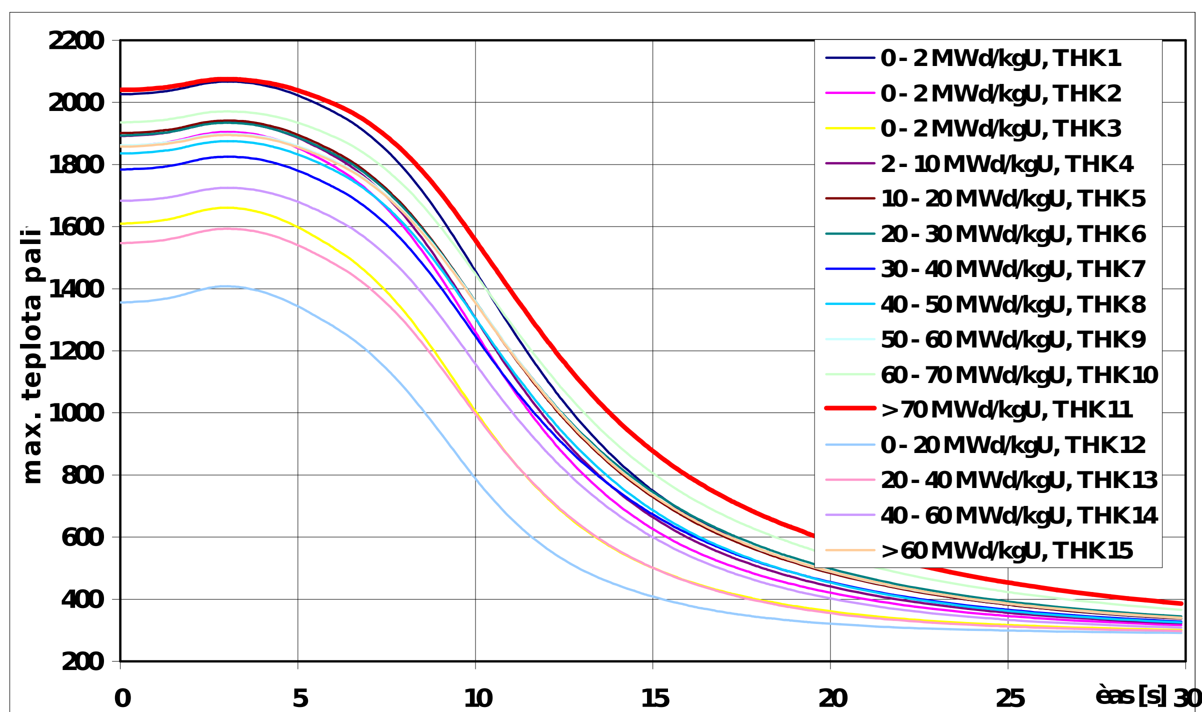
Pozn.: V mnohokanálové reprezentaci jsou specifikovaným horkým kanálům přiřazeny charakteristiky, které přibližně odpovídají vyhoření, uvedenému v legendě ke kanálu.



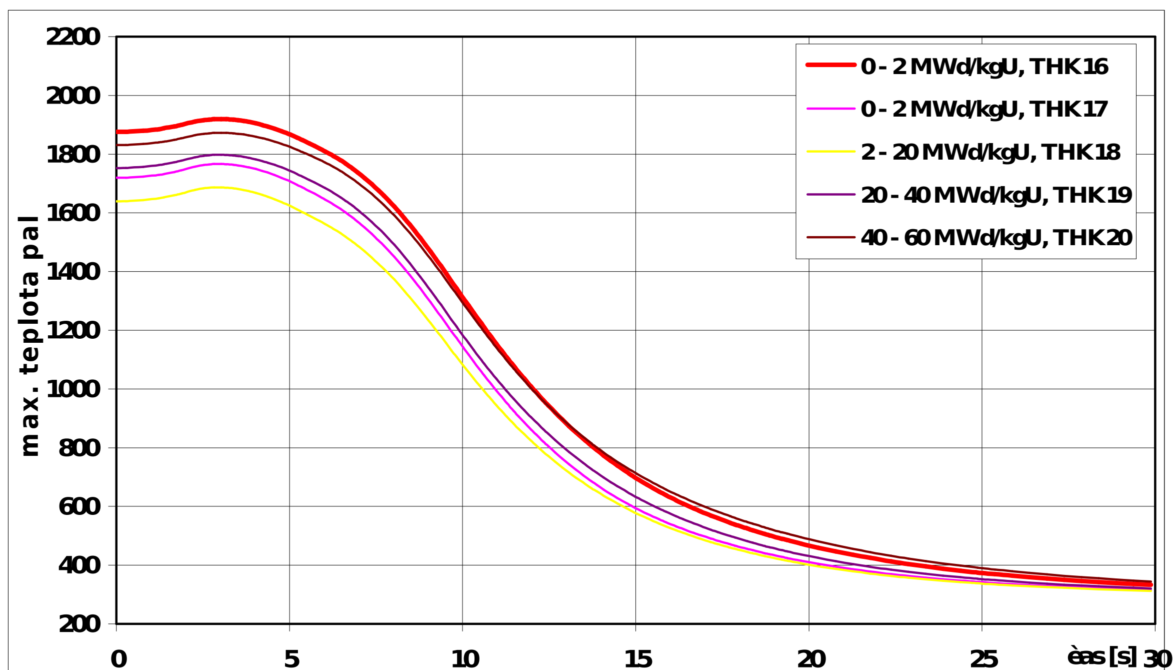
Obr. 15.41a: Neřízené vysouvání pracovní skupiny HRK, nenulový výkon (minimalizace DNBR): Časový průběh minima DNBR, horké kanály bez Gd



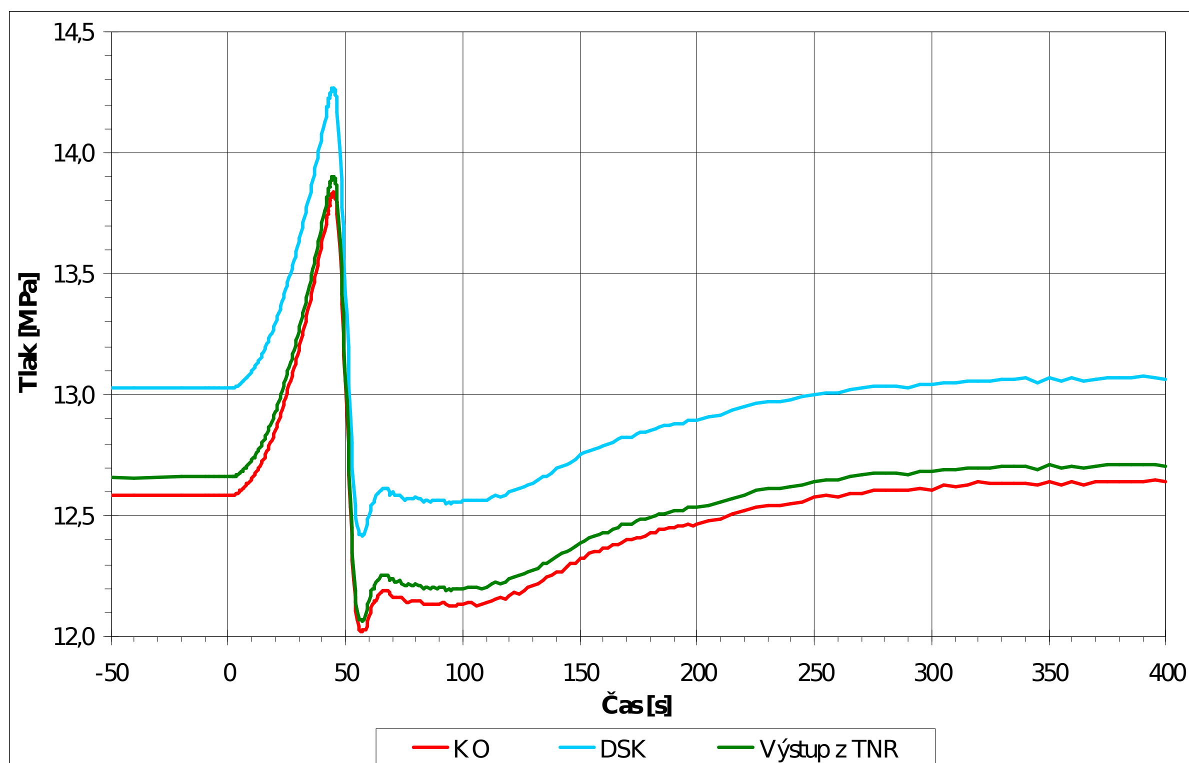
Obr. 15.41b: Neřízené vysouvání pracovní skupiny HRK, nenulový výkon (minimalizace DNBR): Časový průběh minima DNBR, horké kanály s Gd



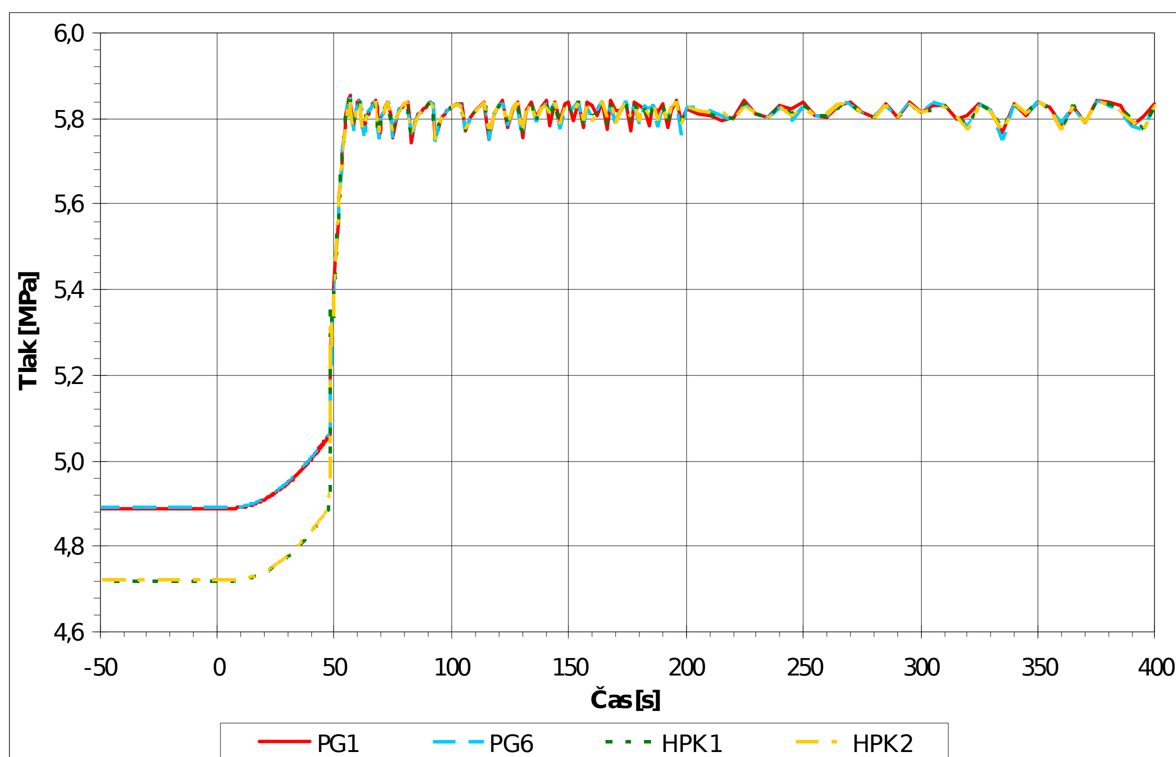
Obr. 15.42a: Neřízené vysouvání pracovní skupiny HRK, nenulový výkon (minimalizace DNBR): Časový průběh maximální teploty paliva, horké kanály bez Gd



Obr. 15.42b: Neřízené vysouvání pracovní skupiny HRK, nenulový výkon (minimalizace DNBR): Časový průběh maximální teploty paliva, horké kanály s Gd



Obr. 15.43: Neřízené vysouvání skupiny HRK na výkonu (maximalizace tlaku v I.O): Tlaky v primárním okruhu



Obr. 15.44: Neřízené vysouvání skupiny HRK na výkonu (maximalizace tlaku v I.O): Tlaky v sekundárním okruhu

15.5.3 Chybná činnost řídicích orgánů

Pod chybnou činnost řídicích orgánů patří následující specifické události:

- Pád jedné HRK
- Staticky chybná pozice jedné HRK pracovní skupiny
- Neúmyslné vysunutí jedné HRK pracovní skupiny

Charakteristickým rysem všech těchto událostí je výrazné přerozdělení výkonu v objemu aktivní zóny, které představuje potenciální možnost překročení dovolených provozních parametrů paliva.

Identifikace příčin a popis události

Pád jedné HRK

Pod pádem se rozumí nepředvídané normálním technologickým procesem zasunutí HRK do aktivní zóny působením vlastní hmotnosti rychlostí 20 - 30 cm/s. K pádu HRK do aktivní zóny může dojít v důsledku přetržení spojovací (vložené) tyče regulačního orgánu, defektu v řídicím systému nebo v pohonném mechanizmu. Nejčastější příčinou pádu HRK na EDU byly závady na měničích nízké frekvence. Aby byl výskyt pádu HRK minimalizován, existují dva záskokové měniče (pro skupiny 1÷3 a 4÷6), která zaskakují za vadné jsou schopné udržet kazetu v téměř stejné poloze.

V případě pádu HRK do dolní koncové polohy nebo i jen v případě jejího prosednutí se do aktivní zóny zavádí záporná reaktivita, která vede ke snížení výkonu. V dalším je průběh procesu závislý na režimu činnosti RCS: pokud je ve strážním nebo ručním režimu, na snížení výkonu nereaguje, pokud je v režimu regulace výkonu nebo tlaku, bude působit ve směru obnovení původní výkonové hladiny, pokud (nebo dokud) nezapůsobí limitační systém od dosažení dolního koncového vypínače spadlou kazetou. O pádu nebo prosednutí kazety je obsluha informována systémem indikace polohy HRK.

Staticky chybná pozice jedné HRK pracovní skupiny

V průběhu provozu reaktorového zařízení jsou možné situace, kdy v důsledku technické poruchy zařízení nebo chyby personálu mohou jednotlivé HRK zaujmout polohu vně pracovního pásma. Taková poloha se nazývá (staticky) chybnou pozicí (polohou). Jsou možné situace, kdy se taková poloha může udržovat za provozu dostatečně dlouhou dobu.

Chybná pozice jedné HRK může být důsledkem pádu nebo prosednutí HRK, neúmyslného vysunutí jedné HRK, případně rozpojení HRK s její vloženou tyčí. Aby byla jistota v tom, že jsou všechny HRK spojeny se svými tyčemi v případě poruchy ukazatelů polohy na panelu blokové dozorny, je stanovena kontrola spojení po spuštění reaktoru u všech HRK, u kterých došlo k rozpojení (při výměně paliva, po zásahu RTS nebo limitačního systému, apod.). Kontrola se provádí přemisťováním HRK ručním řízením v individuálním režimu. Spojení s vloženou tyčí je zjišťováno na základě odezvy reaktivity nebo neutronového toku na prováděná přemisťování HRK. Tato kontrola je pak následována také kontrolou symetrie rozložení výkonu při stanovené výkonové hladině.

V souladu s provozními předpisy EDU jsou při výkonovém provozu všechny skupiny HRK, kromě pracovní, úplně vysunuty z aktivní zóny. Jako nejpravděpodobnější se proto uvažuje staticky chybná pozice jedné HRK z pracovní skupiny, která je nejmobilnější částí systému ochrany a regulace. V důsledku přemístění nemusí dolní konec absorbéru souhlasit u všech HRK pracovní skupiny.

Neúmyslné vysunutí jedné HRK pracovní skupiny

Pod neúmyslným vysunutím jedné HRK se rozumí normálním technologickým procesem nepředvídané vysunutí z aktivní zóny jedné HRK pracovní skupiny pracovní rychlostí 2 cm/s. K neúmyslnému vysunutí 1 HRK může dojít v důsledku defektu (elektrického nebo mechanického) v řídicím systému, případně chybou operátora, který má možnost ručním řízením přemisťovat jednotlivé HRK např. po jejich pádu do aktivní zóny.

Vysouvání 1 HRK vede analogicky jako v případě vysouvání celé skupiny ke zvyšování reaktivity a následnému zvyšování výkonu. Jeho rychlost je omezována působením zpětných vazeb reaktivity, avšak může v principu probíhat až do úplného vysunutí HRK nebo do zapůsobení některé z ochran reaktoru (pokud se neuvažuje činnost řídicího a/nebo limitačního systému). Toto závisí především na výchozí poloze pracovní skupiny: pokud se nachází blízko horní koncové polohy, může být zavedená reaktivita vysunutou kazetou tak malá, že k zapůsobení ochran nedojde. Avšak i při hlubším zasunutí mohou nastat v principu dva kvalitativně odlišné případy:

1. Regulace reaktoru nepracuje, při vysouvání 1 HRK se zvyšuje výkon až do zapůsobení limitačního systému, v krajním případě RTS.

2. Regulace reaktoru pracuje a snaží se udržet výkon na stanovené hladině zasouváním zbytku skupiny (pokud vysouvaná kazeta a zbytek skupiny fungují vlivem poruchy nezávisle) až do úplného vysunutí vysouvající se HRK (pokud mezitím nezapůsobí RTS).

V prvním případě je tedy proces doprovázen zvyšováním výkonu, ve druhém případě zasouváním zbytku pracovní skupiny při udržování výkonu na stanovené hladině. V obou případech přitom dochází ke změnám v rozložení výkonu a zpravidla k růstu nerovnoměrnosti v rozložení výkonu. Právě z tohoto vyplývá potřeba analýzy i případu, kdy regulátor reaktoru udržuje výkon na zadané hladině.

Z hlediska možnosti dosažení (překročení) stanovených kritérií přijatelnosti je pro tuto událost nejnepříznivější jako počáteční stav provoz s vysokými parametry paliva a chladiva, nebo provoz s parametry, které dosažení vysokých parametrů paliva a chladiva umožní. Proto jsou analýzy zaměřeny na nominální šestismyčkový provoz bloku.

Průběh události a činnost systémů

Pád jedné HRK

Pád (prosednutí) HRK je doprovázen poklesem výkonu reaktoru, největší pokles odpovídá pádu HRK až do krajní dolní polohy. K pádu HRK může dojít v principu v libovolném provozním režimu reaktoru, kdy jsou nějaké skupiny HRK vytaženy z aktivní zóny. Pokud se ale jedná o režimy, kdy je reaktor na velmi nízkém výkonu nebo dokonce podkritický, nepředstavuje pád HRK žádné potenciální riziko z hlediska možného porušení sledovaných kritérií přijatelnosti. Z tohoto pohledu jsou rozhodující výkonové hladiny, nejvíce pak nominální výkon, a pád kazety až do dolní koncové polohy.

Pokud v okamžiku pádu HRK (nebo prosednutí o více než stanovují Limity a podmínky) pracoval regulátor reaktoru ve strážním nebo ručním režimu, je obsluha povinna stabilizovat výkon na snížené hladině a následně kontrolovat přijatelnost rozložení výkonu. Pokud regulátor reaktoru pracoval v regulaci výkonu nebo tlaku je obsluha povinna snížit a stabilizovat výkon na hodnotě $\leq$ 85 % dovoleného výkonu a následně kontrolovat přijatelnost rozložení výkonu. V tomto případě má snížení výkonu za cíl eliminovat případné zvyšování výkonu regulátorem reaktoru, a to i v případě zapůsobení limitačního systému (tj. do jeho zapůsobení).

Při provozu na výkonu je pracovní skupina omezena dolní polohou tak, že uvolnitelná reaktivita při jejím úplném vysunutí z této krajní dolní polohy je maximálně 0,5 až 0,6 % (v závislosti zejména na fázi vyhoření paliva). Pokud by účinnost spadlé kazety nebo kazet byla větší, reaktor bude odstaven a žádná činnost regulátoru reaktoru kritický stav neobnoví. Proto má smysl uvažovat pouze případy, kdy je účinnost spadlé kazety/kazet vykompenzovatelná pracovní HRK nebo jejím zbytkem (pokud by spadlá kazeta byla z této regulační). Konzervativně lze pro nominální výkon brát jako nejnižší polohu 125 cm, pak by účinnost při vysunutí mohla dosahovat hodnot až kolem 1%, což je hodnota podstatně vyšší, než možná účinnost spadlé kazety z takové krajní dolní polohy.

Staticky chybná pozice jedné HRK pracovní skupiny

Důsledkem staticky chybné pozice jedné HRK pracovní skupiny při provozu reaktoru na výkonu může být výrazná deformace v rozložení výkonu s následným dopadem na termohydraulické charakteristiky aktivní zóny a případně na charakteristiky systému regulace. Výsledkem deformace v rozložení výkonu může být významné snížení rezervy do krize přestupu tepla. V případě vzniku krizových podmínek přestupu tepla by docházelo k rychlé oxidaci na povrchu palivových proutků s jejich možnou dehermetizací.

Působení systémů reaktoru a operátora spočívá v odhalení chybné pozice HRK a v následném uvedení všech HRK do potřebné polohy. Poloha HRK se kontroluje systémem indikace poloh, který signalizuje polohy HRK.

V případě selhání systému indikace poloh je k dispozici možnost kontroly na základě analýzy rozložení výkonu, speciálně jeho symetrie. Nezávislým způsobem odhalení chybné pozice HRK je analýza údajů termočlánků systému vnitroreaktorové kontroly. Konkrétně tento způsob kontroly je základem zde dokládané možnosti odhalení chybné pozice HRK.

V případě chybné pozice jedné HRK musí dojít k nápravě za dobu, která bude podstatně kratší, než je charakteristická doba vyhořívání jaderného paliva.

Neúmyslné vysunutí jedné HRK pracovní skupiny

Při provozu na výkonu působí zpětné vazby reaktivity proti jejímu zvyšování vyvolanému vysouvající se HRK. Rychlost zvyšování reaktivity a tím i rychlost zvyšování výkonu jsou dány diferenciální účinností, a tedy výchozí polohou pracovní skupiny HRK. Protože HRK se v tomto případě pohybuje pracovní rychlostí a její účinnost je menší než účinnost zbytku skupiny, je při fungujícím regulátoru reaktoru oprávněný předpoklad, že výkon může být udržován na zadané hodnotě. Nicméně, jednou z variant je také selhání regulátoru reaktoru, takže pak lze v principu předpokládat omezení nebo ukončení procesu některou z následujících limitačních nebo ochranných funkcí analogicky, jako v případě neřízeného vysouvání celé skupiny HRK.

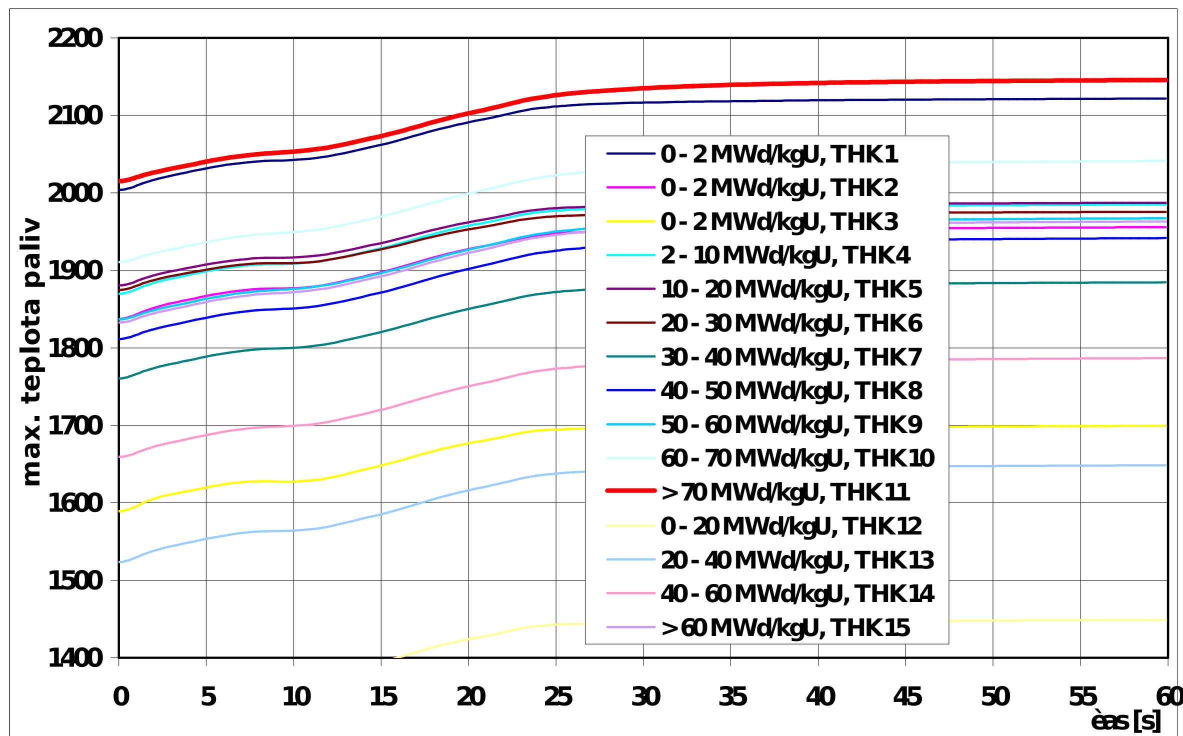
Významným odlišovacím faktorem nekontrolovaného vysouvání jedné HRK pracovní skupiny je v tomto případě uvažovaná počáteční výkonová hladina a následné nerovnoměrnosti v rozložení výkonu při vysouvání jedné HRK. Tyto nerovnoměrnosti jsou fakticky omezující pro splnění příslušných kritérií přijatelnosti. Stejně jako v případě vysouvání celé skupiny je třeba ověřit událost při vzniku na libovolné výkonové hladině, nacházející se od bodu přestavení výkonu při jeho poklesu, do maximální nastavené hodnoty pro nominální výkonovou hladinu.

Pro událost nekontrolovaného vysouvání jedné HRK je rozhodující oblast nejvyšších výkonů, tedy od 77 % do 104 % nominální hodnoty. Analyzován je zde případ s nejvyšším dovoleným výkonem zvýšeným o 4 % oproti nominální hladině.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Pád jedné HRK

Událost je modelována při nominálním výchozím výkonu jako pád nejúčinnější kazety z krajní horní polohy do krajní dolní polohy, přičemž se předpokládá působení regulátoru reaktoru tak, že vysouváním pracovní skupiny udržuje výkon s překmitem až do hodnoty nastavení RTS. Průběh události lze ilustrovat časovým průběhem maxim teploty paliva pro proutky bez Gd na obr. 15.45.



Obr. 15.45: Pád jedné HRK (minimalizace DNBR): Časový průběh maximální teploty paliva, horké kanály bez Gd

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,171/1,173** dosažené v čase 60,0/60,0 s od vzniku události (pro proutky bez Gd/s Gd) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva **2146 °C/1993 °C** dosažené v čase 60,0/60,0 s od vzniku události (pro proutky bez Gd/s Gd) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Radiologické důsledky pádu HRK nejsou žádné, protože s touto událostí není spojeno ani porušení palivových proutků a nedochází ani k úniku média do okolní atmosféry.

Souhrnně lze konstatovat, že sledovaná kritéria přijatelnosti pro tuto událost byla splněna, a to i přes velmi konzervativně uvažované neplnění limitních podmínek pro takovou situaci.

Staticky chybná pozice jedné HRK pracovní skupiny

Zkoumání tohoto typu událostí je zaměřeno na dvě hlediska:

- na možnost odhalení rozsouhlasení poloh regulačních kazet,
- na důsledky neodhaleného rozsouhlasení.

Analýza byla zaměřena na oba aspekty, přičemž pro případy neodhaleného rozsouhlasení bylo cílem především zjistit maximální hodnoty výkonů proutků a lokálních výkonů po výšce proutků, pro které pak byly určeny následující sledované parametry:

Minimum DNBR **1,272** je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva **1942 °C/1830 °C** (pro proutky bez Gd/s Gd) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Z výsledků provedené analýzy plyne, že vlivem události nedochází k porušení palivových proutků: případnému dosažení krizových podmínek přestupu tepla při selhání indikace polohy HRK je zabráněno opatřeními, provedenými na základě zjištěného

nesouladu výpočtových a experimentálních hodnot výstupních teplot chladiva z palivových kazet. Událost nevede k přechodovému procesu s vypouštěním média do okolního prostředí, proto radiologické důsledky této události odpovídají normálním provozním podmínkám.

Z provedených analýz plyne, že sledovaná kritéria přijatelnosti jsou splněna při dodržení provozních předpisů pro kontrolu symetrie výstupních teplot chladiva z aktivní zóny a kontrolních mechanizmů při sledování ohřevů na jednotlivých kazetách nebo jejich skupinách. **Je ovšem požadováno, aby HRK z chybné pozice byla srovnána se zbytkem skupiny v takových časových termínech, aby nedošlo k významnějším rozdílům ve vyhoření palivové části HRK v chybné pozici oproti vyhoření palivových částí zbytku skupiny.**

Neúmyslné vysunutí jedné HRK pracovní skupiny

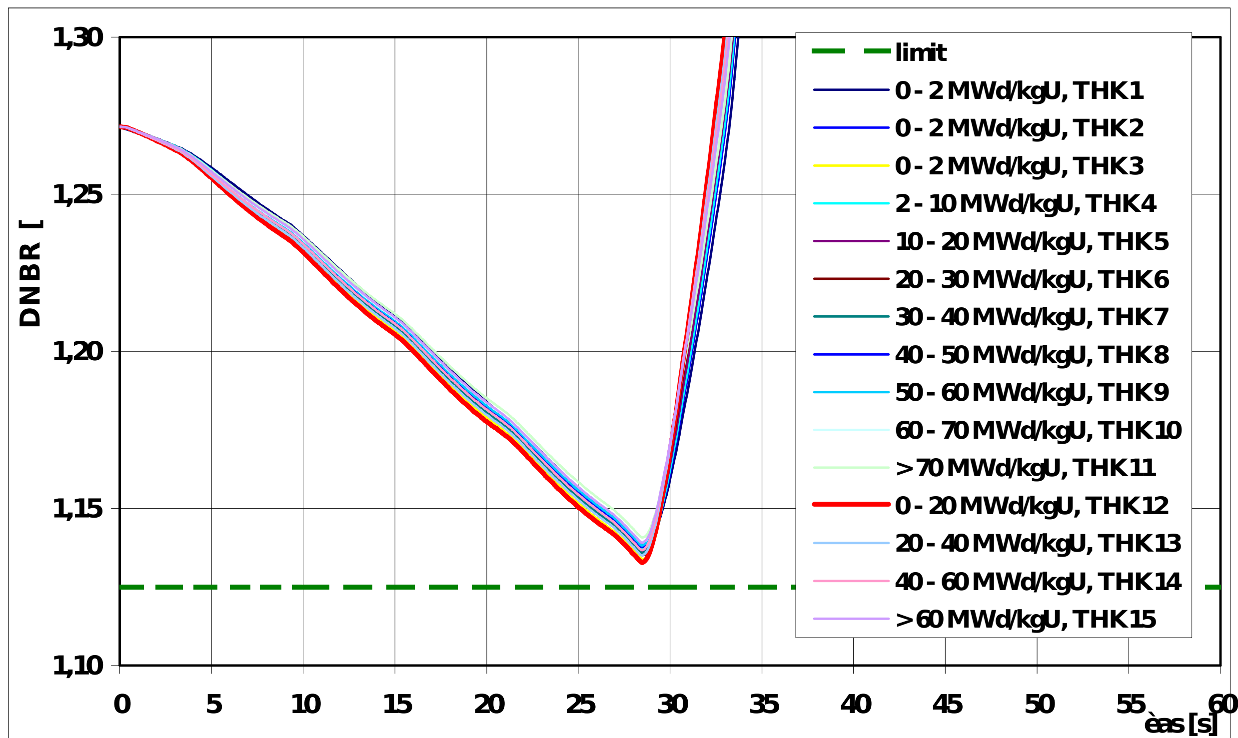
Událost je modelována jako spojité vysouvání jednotlivé HRK pracovní skupiny (všechny ostatní skupiny musí být z aktivní zóny vysunuty) z nejnižší (uvažované) dovolené polohy rychlostí 2,0 cm/s. Předpokládá se, že vysouvání bude ukončeno v okamžiku modelování počátku pádu orgánů ochrany, přičemž vysouvající se HRK s příslušnou dobou zpoždění padá do dolní polohy spolu se zbytkem skupiny a ochranou reaktoru. Uvažuje se zapůsobení RTS od nastavené hodnoty výkonu. Průběh události lze ilustrovat časovým průběhem minim DNBR pro proutky bez Gd na obr. 15.46.

Průběh události vede u sledovaných parametrů k následujícím výsledkům:

Minimum DNBR **1,133/1,133** dosažené v čase 28,5/28,5 s od vzniku události (pro proutky bez Gd/s Gd) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva **2058 °C/1941 °C** dosažené v čase 28,9/28,5 s od vzniku události (pro proutky bez Gd/s Gd) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Z výsledků této analýzy plyne, že vlivem události nedochází k porušení palivových proutků nad rámec, uvažovaný při analýze radiologických důsledků v 15.1.5. Množství případně vypouštěného média do okolní atmosféry je podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, takže případné radiologické důsledky událostí neúmyslného vysunutí jedné HRK budou méně nepříznivé, než v případě roztržení potrubí na HPK. Jak je doloženo v části 15.1.5, případ roztržení potrubí na HPK splňuje radiologická kritéria pro abnormální provoz.



Obr. 15.46: Neřízené vysouvání jedné HRK pracovní skupiny (minimalizace DNBR): Časový průběh minima DNBR, horké kanály bez Gd

Celkově lze konstatovat, že sledovaná kritéria přijatelnosti pro případ neřízeného vysouvání jedné HRK z pracovní skupiny při nenulovém výchozím výkonu reaktoru byla splněna.

Pozn.: V mnohokanálové reprezentaci jsou specifikovaným horkým kanálům přiřazeny charakteristiky, které přibližně odpovídají vyhoření, uvedenému v legendě ke kanálu.

15.5.4 Nesprávné připojení odstavené smyčky primárního okruhu

Pod událostí nesprávné připojení odstavené smyčky primárního okruhu se rozumí spuštění HCČ v rozporu s provozním předpisem, což vede k dodávání studené vody nebo vody s nižší koncentrací než je v I.O do reaktoru, a tím k zavádění kladné reaktivity dané záporným teplotním koeficientem reaktivity moderátoru nebo snižováním koncentrace rozpustného absorbéru v chladivu I.O.

Identifikace příčin a popis události

Každá hlavní cirkulační smyčka JE Dukovany má po jedné HUA (hlavní uzavírací armatura) na studené a horké větvi. To dovoluje v principu odstavit libovolnou smyčku při provozu ostatních smyček. Připojení smyčky se uskutečňuje otevřením HUA na studené větvi a spuštěním HCČ při dříve již otevřené HUA na horké větvi. Pro HUA na studené větvi platí blokovací podmínka, která dovoluje otevření této armatury pouze tehdy, jestliže je rozdíl mezi maximální teplotou ve studené větvi připojené smyčky a teplotou v horké větvi připojované smyčky menší než 15 °C. Stejná blokovací podmínka pak brání také spuštění hlavního cirkulačního čerpadla na připojované smyčce.

Aby se předcházelo možnému nesprávnému připojení odstavené smyčky (jak z hlediska teploty chladiva, tak z hlediska koncentrace kyseliny borité v této smyčce) je dovolený výkonový provoz s menším počtem smyček pouze s otevřenými všemi HUA. Při odstavení reaktoru pro výměnu paliva se u smyček, nezúčastněných při dochlazování, uzavírají pouze HUA na studených větvích. Po případném uzavření HUA na studené i

horké větvi (např. z důvodu oprav apod.) je opětovné připojení povoleno pouze při odstavné koncentraci kyseliny borité. Kromě uvedeného stanoví provozní předpis pro připojování smyčky v rezervě jednoznačný algoritmus, který zajišťuje její spuštění při dovolených parametrech.

Příčiny, které potenciálně mohou vést ke snížení teploty chladiva při připojování nepracující hlavní cirkulační smyčky, lze rozdělit do dvou skupin:

- příčiny, kterým se principiálně nelze vyhnout při provozu reaktoru na výkonu,
- příčiny, vznikající jako výsledek jakýchkoliv porušení režimu připojování hlavní cirkulační smyčky k reaktoru.

K první skupině náleží snížení teploty chladiva při spuštění HCČ nepracující smyčky, jejíž obě HUA jsou již otevřeny. Při provozu reaktoru na výkonu je v tomto případě teplota v horké větvi nepracující smyčky vždy nižší než teplota vody ve studené větvi téže smyčky v důsledku teplotního spádu v PG, je-li tento na páře i na vodě spojen s ostatními pracujícími PG. Proto nelze uskutečnit připojení nepracující smyčky k reaktoru bez určitého snížení teploty chladiva na vstupu do reaktoru.

Ke druhé skupině lze zařadit příčiny, vznikající jako výsledek různých narušení režimu připojování nepracující smyčky k reaktoru. V tomto případě mohou být rozvinuty různé scénáře havarijní situace podle selhání v jednotlivých fázích připojování, přičemž vzniku takových situací za provozu s menším počtem smyček je bráněno otevřenými všemi HUA.

Na stupeň nebezpečnosti připojení smyčky při nesprávné teplotě má vliv:

- nedohřátí vody v připojované smyčce,
- rychlost vtoku vody do reaktoru,
- absolutní hodnota teplotního koeficientu reaktivity moderátoru,
- stupeň promíchávání chladiva v dolní směšovací komoře reaktoru,
- omezující působení zpětných vazeb a systému řízení a ochrany reaktoru.

Nejnepříznivější situace z hlediska teploty v připojované smyčce nastává při jejím připojení se sníženou teplotou ke konci provozu palivové vsázky, kdy je teplotní koeficient reaktivity moderátoru nejzápornější.

V případě narušení předpisů a postupů by nejméně příznivou událostí bylo snížení koncentrace kyseliny borité v případě chybného připojení odstavené cirkulační smyčky, ve které se nachází podstatně nižší koncentrace kyseliny borité než ve smyčkách pracujících. Při snížení střední koncentrace bóru v chladivu se zavádí kladná reaktivita a neutronový tok vzrůstá. Bude-li tento růst natolik rychlý, že tepelný tok, nehledě na omezující účinky zpětných vazeb a působení systému řízení a ochrany reaktoru, překročí dovolené limity, může vzniknout nebezpečí porušení palivových proutků. Na stupeň nebezpečnosti takové situace má vliv:

- rychlost vtoku vody do reaktoru,
- rozdíl v koncentracích kyseliny borité v reaktoru a v připojované smyčce,
- absolutní hodnota bórového koeficientu reaktivity,
- stupeň promíchávání chladiva v dolní směšovací komoře reaktoru,
- omezující působení zpětných vazeb a systému řízení a ochrany reaktoru.

Nejméně příznivým stavem aktivní zóny pro připojení smyčky s nižší koncentrací bóru je počátek provozu vsázky, kdy je kritická koncentrace kyseliny borité v chladivu primárního okruhu maximální.

Možnost připojení smyčky s nižší koncentrací kyseliny borité než je koncentrace v I.O, je za provozu eliminována otevřenými všemi HUA a promícháváním s chladivem I.O. V takovém případě, kdy reaktor pracuje s nepracující hlavní cirkulační smyčkou, jejíž HUA jsou otevřeny, ale HCČ je odstavené, je koncentrace bóru v chladivu nepracující smyčky stejná jako v reaktoru, protože k promíchávání chladiva dochází obráceným průtokem. V případech s připojováním po uzavření HUA, jak na studené tak na horké větvi, existují administrativní opatření v rámci systému zajištění proti vniknutí čistého

kondenzátu do IO a příslušné algoritmy, dovolující připojení smyčky pouze za podmínek hluboce podkritického stavu aktivní zóny.

Z popisů plyne, že vznik havarijních podmínek, spojených s významným vychlazením hlavní cirkulační smyčky nebo významným snížením koncentrace bóru v chladivu I.O, je možný pouze v případě hrubého porušení pravidel připojování smyčky a selhání blokovacích podmínek, případně ochran reaktoru. Nemůže tedy k této události dojít samovolně, její iniciace je spojena s činností obsluhy. Je zřejmé, že popsaná málo pravděpodobná kumulace okolností náleží do kategorie hypotetických událostí.

Průběh události a činnost systémů

V případě nesprávného připojení vychlazené smyčky se předpokládá vznik události jako důsledek hrubého narušení předpisu pro připojování smyčky v rezervě se současným nezafungováním blokád a po předchozím maximálním vychlazení chladiva smyčky: Z analýzy chybného vychlazování studené větve odstavené smyčky (s uzavřenou HUA na této větvi) vyplynulo, že při chybné vychlazovací vodovýměně může být za 30-ti minutový interval, během kterého by měl operátor chybu zjistit a napravit, snížena teplota v úseku mezi uzavřenou HUA na studené větvi a chladným kolektorem parogenerátoru až o ~120 °C. Vychlazený objem je ~2,9 m3. Za těchto podmínek může současně teplota v horké větvi dosahovat takovou hodnotu, že nebude splněna podmínka pro působení blokády od teplotního rozdílu (většího než 15 °C) mezi maximální teplotou ve studené větvi přiřazené pracující smyčky a teplotou v horké větvi připojované smyčky (t.zn. že při teplotě ve studené větvi přiřazené pracující smyčky např. 270 °C by byla teplota v horké větvi připojované smyčky větší než 255 °C).

Jestliže za tohoto stavu dojde k další chybné činnosti, kdy operátor spustí HCČ na připojované smyčce a začne otvírat HUA na její studené větvi (HUA na horké větvi se předpokládá již v otevřeném stavu), může být do aktivní zóny dopravována voda o velmi nízké teplotě. Následné vychlazování vede působením zpětné vazby od teploty moderátoru ke zvyšování výkonu, které je omezováno zpětnovazebním působením Dopplerova efektu a po dosažení příslušného nastavení je růst výkonu zastaven havarijní ochranou. (Mezitím by ovšem působily regulace reaktoru, limitační systém a ochrany nižšího řádu, které se při analýzách zpravidla neuvažují, pokud průběh procesu zmírňují).

Analogický účinek by mělo připojení smyčky, ve které je koncentrace bóru v chladivu nižší (až nulová) než v I.O, kdy by ke zvyšování výkonu vedlo snižování absorpce jako důsledek ředění bóru v I.O.

Při připojování smyčky s vychlazenou vodou mají na průběh procesu rozhodující vliv doba otvírání HUA a teplota a množství vychlazené vody v připojované smyčce spolu s teplotním efektem reaktivity moderátoru. Kratší doba otevření (rychlejší otvírání) HUA, nižší teplota a větší množství vychlazené vody znamenají rychlejší a dlouhodobější pokles teploty, doprovázený rychlejším (a dlouhodobějším) růstem výkonu. Tento růst je tím větší, čím zápornější je teplotní koeficient reaktivity moderátoru. Vliv množství vychlazené vody se výrazněji projevuje pouze do jeho určité velikosti, tj. zhruba do množství, které vyteče do zásahu havarijní ochrany. Od tohoto okamžiku je průběh procesu řízen především zaváděnou zápornou reaktivitou havarijními a regulačními kazetami.

Analogicky v případě připojování smyčky obsahující chladivo s nižší (až nulovou) koncentrací H_3BO_3 než je koncentrace v I.O mají na průběh procesu rozhodující vliv doba otvírání HUA a koncentrace H_3BO_3 (rozdíl oproti I.O) a množství vody s touto koncentrací v připojované smyčce spolu s účinností H_3BO_3. Kratší doba otevření (rychlejší otvírání) HUA, nižší koncentrace H_3BO_3 a větší množství této vody znamenají rychlejší a dlouhodobější pokles koncentrace H_3BO_3 v chladivu I.O (příp. lokálně v sektoru AZ), doprovázený rychlejším (a dlouhodobějším) růstem výkonu. Tento růst je tím větší, čím zápornější je účinnost H_3BO_3. Vliv množství vody s nižší koncentrací H_3BO_3 se výrazněji projevuje pouze do jeho určité velikosti, tj. zhruba do množství, které vyteče do zásahu havarijní ochrany. Od tohoto okamžiku je průběh procesu řízen především zaváděnou zápornou reaktivitou havarijními a regulačními kazetami.

Obecně se pro tuto událost předpokládá zapůsobení ochran reaktoru, které definitivně ukončí průběh procesu a zabrání porušení palivových proutků nebo omezí jejich porušení na přijatelnou míru. Uvažovaný proces může mít přitom analogicky rychlý průběh jako v případě vystřelení HRK při nenulovém výkonu, přičemž se výrazněji mohou projevit vzrůstající nerovnoměrnosti v rozložení výkonu v počáteční fázi poklesu celkového výkonu. Působení ochran je obecně nutné, aby byl proces bezpečně ukončen. Důsledky nesprávného připojení nepracující smyčky budou pak omezovány a udržovány v přijatelných mezích i přes předchozí uvažované hrubé chyby obsluhy některou z ochran reaktoru (příp. jejich kombinací).

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Vychlazená smyčka: Iniciační událostí je otevření HUA na vychlazené smyčce při počátečním výkonu reaktoru 1187 MW a teplotě ve vychlazené smyčce 50 °C. Rychlé odstavení reaktoru je modelováno od převýšení výkonu. Uvažuje se varianta ***maximalizující teplotu paliva*** (100% energie uvolněné v palivu).

Smyčka s nulovou koncentrací bóru: Iniciační událostí je otevření HUA na smyčce s nulovou koncentrací H_3BO_3 při výchozím výkonu 1187 MW, s teplotou v připojované smyčce 255 °C a koncentrací H_3BO_3 v I.O 6,89 g/kg. Rychlé odstavení reaktoru je modelováno od převýšení výkonu. Uvažuje se varianta ***maximalizující teplotu paliva*** (100% energie uvolněné v palivu) a varianta ***minimalizující DNBR*** (97,5 % energie uvolněné v palivu).

Minimum DNBR je dosaženo u variant připojované smyčky bez bóru s minimalizací DNBR, maximum teploty paliva je dosaženo u připojované vychlazené smyčky s maximalizací teploty paliva. Průběh události lze ilustrovat časovým průběhem minima DNBR na obr. 15.47 a maxima teploty paliva na obr. 15.48.

Smyčka s nulovou koncentrací bóru: Iniciační událostí je otevření HUA na smyčce s nulovou koncentrací H_3BO_3 při koncentraci H_3BO_3 v I.O 4,52 g/kg a výchozím výkonu 1194 MW. Rychlé odstavení reaktoru je modelováno od 2. signálu RTS od převýšení tlaku v I.O (1. signál konzervativně neuvažován). Tato varianta je zaměřena na maximum tlaků v I.O a II.O. Průběh události lze ilustrovat časovým průběhem tlaků na obr. 15.49, 15.50.

V souladu s dosahovanými extrémy sledovaných parametrů jak je popsáno výše platí:

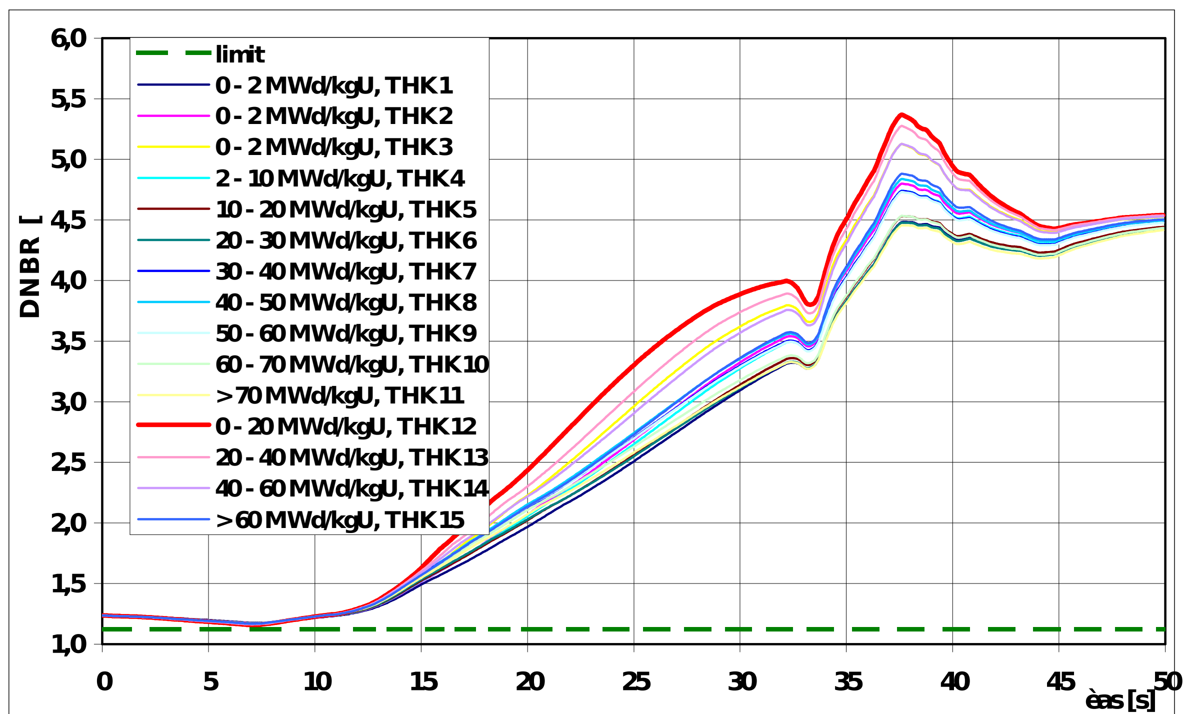
Minimum DNBR **1,159/1,162** dosažené v čase 7,1/7,1 s od vzniku události (pro proutky bez Gd/s Gd) je větší než limitní hodnota **1,125**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty paliva **2368 °C/2255 °C** dosažené v čase 14,4/3,0 s od vzniku události (pro proutky bez Gd/s Gd) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

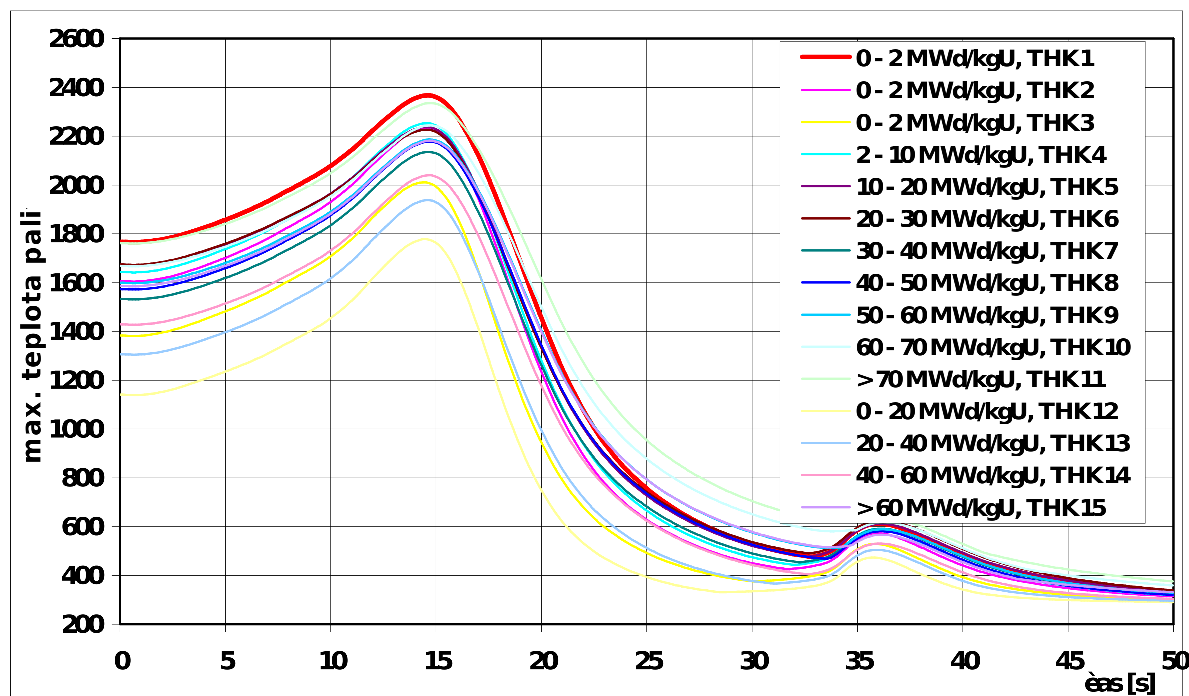
Maximum tlaku **14,51 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 28,9 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **5,85 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase 37,9 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje výsledky modelování nesprávného připojení hlavní cirkulační smyčky při výchozím výkonu 87 % nominální hodnoty s teplotou chladiva v připojované smyčce 100 °C. Získané výsledky potvrzují splnění kritérií přijatelnosti pro událost abnormálního provozu a současně ukazují nízké hodnoty parametrů, které by odpovídaly události jako havarijním podmínkám.



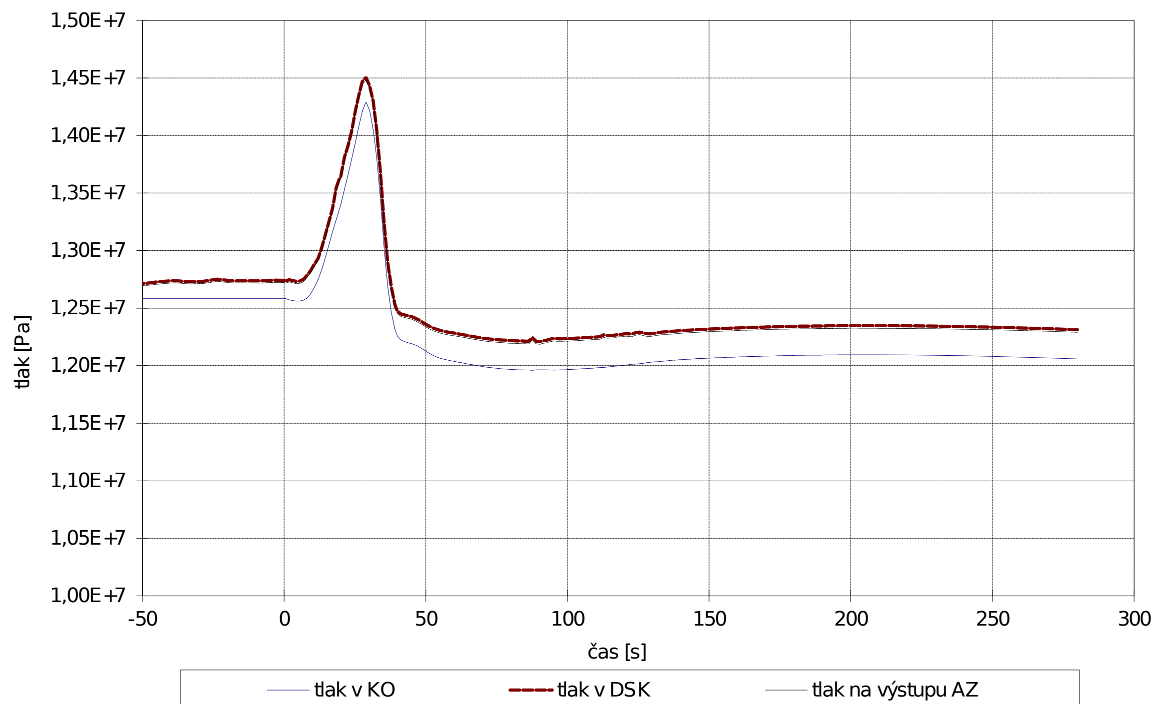
Obr. 15.47: Nesprávné připojení smyčky I.O s nulovou koncentrací H_3BO_3 (minimalizace DNBR): Časový průběh minima DNBR, horké kanály bez Gd



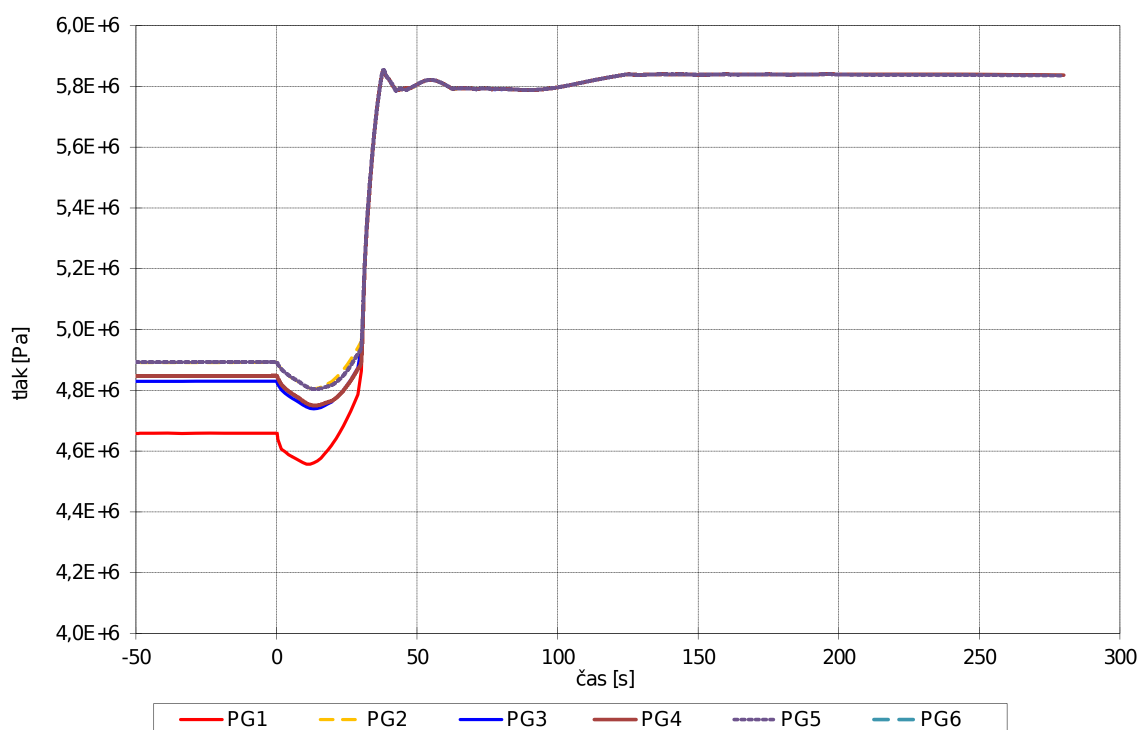
Obr. 15.48: Nesprávné připojení vychlazené smyčky I.O (maximalizace teploty paliva): Časový průběh max. teploty paliva, horké kanály bez Gd

U obou analyzovaných variant (minimalizace DNBR a maximalizace teploty paliva) odpovídá průběh procesu abnormálnímu provozu. V takovém případě nedochází k porušení palivových proutků nad rámec normálního provozu a případné přepouštění zařízeními sekundárního okruhu nepředstavuje žádné významnější radiologické důsledky

Pozn.: V mnohokanálové reprezentaci jsou specifikovaným horkým kanálům přiřazeny charakteristiky, které přibližně odpovídají vyhoření, uvedenému v legendě ke kanálu.



Obr. 15.49: Nesprávné připojení smyčky primárního okruhu s nízkou koncentrací bóru (analýza zaměřená na maximum tlaku v I.O): Tlaky v primárním okruhu



Obr. 15.50: Nesprávné připojení smyčky primárního okruhu s nízkou koncentrací bóru (analýza zaměřená na maximum tlaku v I.O): Tlaky v parogenerátorech

Výpočty tak bylo potvrzeno splnění kritérií přijatelnosti pro nesprávné připojení hlavní cirkulační smyčky jako události abnormálního provozu.

15.5.5 Chybné funkce nebo poruchy regulátoru průtoku ve smyčkách BWR (Netýká se JE Dukovany)

15.5.6 Chybná funkce systému normálního doplňování a bórové regulace, která vede ke snížení koncentrace kyseliny borité v chladivu primárního okruhu

Pod snížením koncentrace kyseliny borité v chladivu reaktoru se rozumí její snížení na vstupu do aktivní zóny, které může vyvolat zavedení kladné reaktivity do aktivní zóny reaktoru.

Identifikace příčin a popis události

Ke snižování koncentrace kyseliny borité v I.O (ředění) může obecně dojít v důsledku jiných událostí (nehod), nebo přiváděním nebórované vody do I.O chybnou činností systému normálního doplňování a bórové regulace nebo chybou obsluhy. K případům ředění může docházet při výměnách paliva, při spouštění reaktoru i při provozu na výkonu. Případ nesprávného připojování odstavené smyčky při nesprávné koncentraci kyseliny borité je řešen jako součást události 15.4.4.

Normální procedura snižování koncentrace kyseliny borité v chladivu je prováděna operátorem pod nepřetržitým dohledem v souladu s provozním předpisem. Rychlost přivádění čisté vody do primárního okruhu je omezena výkonem doplňovacích čerpadel, což při normálním provozu jednoho čerpadla je 6 m^3/h, maximálně může být teoreticky až 65 m^3/h, omezení průtoku jedním čerpadlem je však na 50 m^3/h. Provozní předpis dovoluje maximálně 35 m^3/h. Operátor má možnost přívod čisté vody do reaktoru přerušit okamžitě na základě informací o stavu doplňování primárního okruhu (která čerpadla pracují, v jakém stavu je uzavírací armatura), které jsou operátorovi poskytovány nepřetržitě. Uvedená průtočná množství reprezentují takovou rychlost přivádění čisté vody do okruhu, že i při nejvíce pesimistických předpokladech o poruchách v systému bórové regulace má operátor po obdržení informace o těchto poruchách dostatek času na přerušení ředění a nápravu neplánované události.

Průběh události a činnost systémů

Potenciální nebezpečí uvažované události při provozu na výkonu (včetně nízkých výkonů v režimu 2) je možné zvýšení výkonové hladiny s následným překročením dovolených parametrů palivových proutků. U nevýkonových stavů (režimy 3 až 6) je potenciálním nebezpečím možnost dosažení kritického stavu (a případného nežádoucího zvyšování výkonu) při zasunutých všech HRK v aktivní zóně.

Pro všechny provozní režimy, ale zejména pro přechod mezi jednotlivými režimy, jsou příslušnými předpisy stanoveny časové intervaly pro kontrolu koncentrace kyseliny borité. Pro odstavený reaktor s odstavnou koncentrací kyseliny borité je požadovaná doba pro kontrolu koncentrace H_3BO_3 4 hodiny v předepsaných odběrových místech, které zahrnují všechny hlavní části I.O připojeného k odvodu zbytkového tepla z reaktoru. Při přechodech mezi režimy jsou typické doby pro odběr vzorků 15 minut z I.O, 30 minut vzorky z doplňování a z KO.

Za provozu reaktoru je odběr vzorků po 8 hodinách, případně před zahájením stanovených operací (např. při překompenzaci polohy HRK). Stanovené frekvence kontroly koncentrace kyseliny borité jsou dostatečné pro zjištění nesouladu v hodnotách požadované nebo očekávané koncentrace v daném provozním stavu.

Za provozu na výkonu je nejrychlejším způsobem identifikace snižování koncentrace kyseliny borité neočekávané zvyšování výkonu a změna dalších parametrů I.O i II.O. Operátor reaktoru zaregistruje změnu výkonu jak na ukazatelích měřeného výkonu, tak i

na změně ohřevu chladiva v reaktoru. V případě ukazatelů výkonu zaregistruje změnu od cca 0,2 až 0,5%, v případě ohřevu zaregistruje změnu počínaje hodnotami 0,1 až 0,2 °C a s určitostí od hodnoty 0,3 °C - tomu odpovídá změna výkonu 1% nominální hodnoty. Tuto změnu současně (a případně ještě dříve) zaregistruje také obsluha na údajích ze sekundárního okruhu, zvláště při provozu na výkonu nominálním. Lze tedy konzervativně předpokládat, že obsluha zaregistruje zcela jistě změnu výkonu reaktoru o 1% N_{nom}. Při maximálním výpočtovém vstupním průtoku vody 65 m^3/h by ke změně výkonu o 1% N_{nom} na počátku provozu vsázky (kdy je koncentrace bóru v chladivu nejvyšší a ředění je nejrychlejší) došlo během 1 minuty.

Pokud by byl reaktor v automatické regulaci výkonu, regulační systém reaktoru by začal zasouvat pracovní skupinu HRK nejpozději při dosažení odchylky 2 % od nominálního výkonu, tedy po ~2 minutách od počátku události. Další zasouvání bez činnosti obsluhy by mohlo vést až k porušení nejnižší dovolené polohy a tím k narůstání nerovnoměrnosti v rozložení výkonu nad dovolené hodnoty, kterým vyhovuje dovolené rozmezí poloh pracovní skupiny HRK. Avšak už na základě uvedených projevů a dalších parametrů (přítomnost vstřiku do KO, změna vstupní teploty chladiva, změna hladiny v KO a jiné příznaky) lze vzniklou situaci identifikovat, a to jak ve stacionárních stavech, tak i během přechodových procesů spojených se změnami xenonové otravy. Je to díky tomu, že pro průtok celým I.O stačí chladivu ~13 s, takže reaktor na změnu koncentrace kyseliny borité reaguje prakticky okamžitě.

Pokud by byl na počátku události reaktor v ručním režimu ovládání, obsluha by zaregistrovala nežádoucí změnu v podstatě ještě dříve než regulační systém reaktoru, jak bylo popsáno výše. Podle provozního předpisu pro reaktor je obsluha povinna trvale sledovat a udržovat výkon, a to bez ohledu na výchozí nastavení režimu regulace reaktoru. Nepřipustila by tedy neočekávané zvyšování výkonu, a v případě objevení dalších příznaků neúmyslného ředění bóru v chladivu by okamžitě započala nápravná opatření, včetně identifikace příčiny události.

Z výše uvedeného plyne oprávněnost konzervativního předpokladu, že obsluha identifikuje počátek ředění nejpozději do 3 minut od počátku vtoku čisté vody do I.O, bez ohledu na výchozí stav regulátoru reaktoru.

V kritických stavech reaktoru na nulovém nebo velmi nízkém výkonu by se větší množství vtékající vody a následné ředění bóru v chladivu projevilo především na periodě reaktoru, současně se zvyšováním výkonu samotného. Snížení periody reaktoru na dovolenou hodnotu 90 s může být způsobeno už velmi malými změnami koncentrace bóru ve vodě (např. o ~0,05 g/kg, což by odpovídalo zvýšení reaktivity o ~ 0,1% během několika desítek sekund od počátku vtoku vody). Proto je možno i v tomto případě očekávat, že obsluha identifikuje počátek ředění nejpozději do 3 minut od počátku vtoku čisté vody do I.O.

Nachází-li se reaktor v režimu výměny paliva, provádí se kontrola pomocí systému kontroly neutronového toku při výměně paliva, který poskytuje průběžnou informaci o případném zvyšování neutronového toku jak pro obsluhu reaktoru, tak i kontrolnímu fyzikovi a obsluze zavážecího stroje. Přitom doba 3 minuty pro identifikaci ředění je i zde dostatečná, neboť i při přirozené cirkulaci je průtok chladiva velmi intenzivní.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

V daném případě je klíčovým kritériem dostatečnost doby pro zásah obsluhy, konkrétně

- 30 minut během výměny paliva,
- 15 minut během spouštění, studeného odstavení, horké rezervy a provozu na výkonu.

Z výsledků provedených výpočtů vyplynulo, že toto kritérium je s dostatečnou rezervou splněno u všech provozních režimů, definovaných v Limitech a podmínkách bezpečného provozu. Pro režim výměny paliva vyhovuje z tohoto hlediska i koncentrace zajišťující podkritičnost 2 %, i prostá odstavná koncentrace kyseliny borité. Pro vyšší teploty chladiva by mohla být přijatelná i koncentrace zajišťující podkritičnost – 1%, ale u

nižších teplot se už dostává do oblasti, kde by to bylo při větších průtocích doplňovaného čistého kondenzátu na hranici požadovaného časového intervalu.

Událost chybné funkce systému normálního doplňování a bórové regulace nevede k porušení palivových proutků nad rámec normálního provozu, proto s událostí nejsou spojeny žádné nebo minimální radiologické důsledky. Množství případně vypouštěného média do okolní atmosféry je podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK, takže případné radiologické důsledky této události budou méně nepříznivé, než v případě roztržení potrubí na HPK. Jak je doloženo v části 5.1.5, případ roztržení potrubí na HPK splňuje radiologická kritéria pro abnormální provoz.

Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje výsledky analýzy neúmyslného snižování koncentrace kyseliny borité v chladivu I.O jak z hlediska termohydraulických kritérií přijatelnosti (nedosažení krize varu, nedosažení teploty tavení paliva) v provozních režimech 1 a 2, tak z hlediska kritéria, požadujícího dostatečnost doby pro identifikaci a provedení nápravných opatření při neúmyslném ředění bóru v chladivu I.O. Získané výsledky potvrdily splnění sledovaných kritérií přijatelnosti.

15.5.7 Neúmyslné zavezení a provoz palivové kazety v nesprávném místě aktivní zóny

Identifikace příčin a popis události

V procesu výměny paliva nelze v principu zcela vyloučit chybnou činnost personálu, při níž by mohlo dojít k nesprávnému umístění palivových kazet v aktivní zóně. Tento proces je obecně velmi přísně kontrolován s tím, aby nedošlo ani k jedinému umístění palivové kazety do jiné pozice v aktivní zóně (AZ), než bylo předem stanoveno v etapě návrhu AZ pomocí ověřených výpočtových programů. Pravděpodobnost této události (resp. pravděpodobnost toho, že nebude včas odhalena) je tedy velmi nízká, jak vyplývá z následujícího přehledu kontrolních činností prováděných při výměně paliva.

Kontroly se provádějí již při příjmu paliva v JE, kdy se jednotlivě, kazetu po kazetě, kontroluje jejich umístění v transportních válcových zásobnících a roštech skladu čerstvého paliva. Zaplněné válcové zásobníky jsou protokolárně kontrolovány před zahájením výměny paliva (protokol je podmínkou pro zahájení výměny) a každý zásobník je znovu - kazetu po kazetě- kontrolován na reaktorovém sále těsně před jeho zavezením do bazénu výměny paliva (správnost jeho zaplnění palivem je stvrzena podpisem).

Poté, co je palivo zavezeno, je prováděna dvojnásobná nezávislá kontrola umístění každé kazety v AZ pomocí televizní kamery. První kontrolu provádí personál JE, poslední nezávislou kontrolu (včetně bazénu skladování) provádějí inspektoři SÚJB, MAAE a EURATOM. Tato kontrola zajišťuje, že všechny palivové kazety jsou na předpokládaných pozicích v reaktoru, resp. bazénu skladování. Nezávadné protokoly z těchto kontrol jsou podmínkou pro pokračování dalších technologických operací na odstaveném reaktoru.

V procesu spouštění bloku (do výkonu 2 % nominální hodnoty) se dále provádějí speciální testy kontroly symetrie zavážky, čímž se nepřímo potvrzuje i správnost rozmístění palivových kazet v aktivní zóně.

V etapě zvyšování výkonu se správnost zavážky dále ověřuje na jednotlivých výkonových hladinách (počínaje hladinou 20% N_{nom}) pomocí vyhodnocení údajů systému vnitroreaktorové kontroly a měření teplotního pole chladiva na výstupu z palivových kazet. Dále se prověřují rozptyly měření u symetrických kazet „na orbitě“ s tím, že hlavní pozornost se věnuje stavu blízkému nominálním výkonu.

Průběh události a činnost systémů

Pokud by k chybné záměně došlo, pak nejpravděpodobnější jsou možnosti chybné záměny kazet v páru, kdy se od plánovaného rozmístění liší polohy dvojice kazet. Podstatně méně pravděpodobné je zavezení jednotlivé nesprávné kazety například z bazénu skladování (potom by totiž nejspíše nějaká kazeta v AZ „přebývala“). Proto byl

jako základ analýz nesprávného zavezení kazet v AZ vybrán právě případ párových záměn. Z technologických důvodů (konstrukce zavážecího stroje a jeho manipulační teleskopické tyče) je více pravděpodobná záměna kazet sousedících, než kazet ležících ve větší vzdálenosti. Taková záměna má naštěstí příznivější dopad na celou AZ, neboť se při ní odchylky výkonového rozložení v největší míře vzájemně kompenzují.

Při analýze záměny kazet je nutné vyhodnotit jejich vliv na spolehlivost provozu reaktoru počínaje jeho vyváděním na výkon. Uvedený typ události nevede k přechodovému procesu, jeho důsledkem však může být porušení podmínek bezpečného provozu tím, že mohou být překročeny limitní hodnoty koeficientů nerovnoměrnosti v rozložení výkonu v aktivní zóně i v jednotlivých kazetách a limitní hodnoty lineárního výkonu v palivových proutcích. Překročení těchto limitních hodnot může znamenat vznik objemového varu na výstupu z některých kazet až po vznik krizových podmínek přestupu tepla, vedoucích k postupné dehermetizaci části palivových proutků. Protože aktivita chladiva je průběžně monitorována, byla by obsluhou odhalena netěsnost již prvních proutků. Při dalším rozvoji porušení paliva a dalším nárůstu aktivit v chladivu by došlo postupně od dosažení limitů aktivit vedoucích ke stanoveným provozním omezením, až po případné odstavení reaktoru následované vyhledáním kazet s poškozenými proutky v otevřeném reaktoru.

Existence chybného umístění páru kazet v aktivní zóně může být zjištěna (odhalena) pomocí systému vnitroreaktorové kontroly během stadia vyvádění reaktoru na výkon. Z hlediska možného odhalení chybné zavážky lze použít klasifikaci dvojice záměn:

- zjistitelné záměny, pro které existuje velká pravděpodobnost odhalení pomocí termočlánků při analýze jejich údajů z měřených palivových kazet,

- těžko zjistitelné záměny, pro které je pravděpodobnost odhalení pomocí analýzy stanoveného pole rozložení výkonu velmi malá.

Z výše uvedeného plyne, že mohou existovat záměny kazet s velkými důsledky pro bezpečnost provozu, které nemusí být za provozu odhaleny, a které musí být analyzovány jako iniciační událost, přitom analýza záměn kazet se nemůže omezit pouze na kazety s termočlánky.

Celkový počet možných chybných záměn dvojic palivových kazet je značný, ale vzhledem k současným možnostem výpočetní techniky nebylo třeba provádět selekci na základě vlastností jednotlivých kazet. Ze zkoumání byly vyloučeny pouze záměny mezi pracovními palivovými kazetami a palivovými částmi HRK, protože tato záměna není technicky možná.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Analýzy události neúmyslného zavezení palivové kazety do nesprávného místa aktivní zóny se provádí z hlediska:

- zjistitelnosti chybného zavezení,
- splnění kritérií přijatelnosti pro havarijní podmínky,
- odhad počtu porušených palivových proutků pro neodhalené typy záměn.

Výpočty ukázaly zjistitelnost takových chybných záměn palivových kazet, které by mohly vést až k porušení sledovaných kritérií přijatelnosti pro havarijní analýzy. Pro případy nezjistitelných záměn palivových kazet byly jako nejméně příznivé získány výsledky:

Maximum teploty paliva **1921 °C/1813 °C** (pro proutky bez Gd/s Gd) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum radiálně středované entalpie paliva **387 J/g** je menší než limitní hodnota **840 J/g**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum teploty pokrytí paliva **334 °C** je menší než limitní hodnota **1200 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Navíc je v daném případě splněno i kritérium nedosažení krize varu, tj. nepřekročení limitní hodnoty 1,125, dosažené minimum bylo 1,276. V případě, že by překročení

lokálních výkonových charakteristik vedlo k porušení pokrytí palivových proutků, bude při chybné zavážce rozsah omezený na jednu kazetu, případně její nejbližší okolí. Přitom prováděná kontrola aktivity primárního okruhu umožňuje odhalit dehermetizaci už pouhé 1 ÷2 palivové proutky, takže i při dehermetizaci malého počtu palivových proutků to povede k odstavení reaktoru a provedení nápravných opatření.

Z výsledků termohydraulické analýzy plyne, že vlivem události nedojde k porušení palivových proutků ve větším rozsahu než 0,54 % z jejich celkového počtu v aktivní zóně. K úniku média do okolního prostředí přitom nedochází, takže radiologické důsledky této nehody jsou minimální. Pokud by došlo k přepouštění ze II.O do okolní atmosféry, bude únik média podstatně menší, než v případě roztržení potrubí na HPK. Analýza radiologických důsledků roztržení potrubí na HPK byla provedena za předpokladu (projektové) dehermetizace 1 % palivových proutků z jejich celkového počtu v aktivní zóně, takže radiologické důsledky nesprávného zavezení palivové kazety nebudou horší, než v případě prasknutí potrubí na HPK, kdy jsou splněna radiologická kritéria pro abnormální provoz (viz část 15.1.5).

Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva potvrzuje výše uvedené výsledky, tj. u neodhalených záměn palivových kazet nedosažení krizových podmínek předstupu tepla a velké rezervy u kritérií pro havarijní podmínky.

15.5.8 Spektrum nehod s vystřelením řídicích orgánů

Spektrum nehod s vystřelením řídicích orgánů reprezentuje v tomto případě vystřelení jednotlivé HRK obecně z libovolné výchozí polohy a v libovolném stavu reaktoru. Možné spektrum případů lze na základě existujících poznatků vymezit následujícími dvěma reprezentativními stavy:

- nulový (resp. velmi nízký) výchozí výkon při 3 smyčkách v provozu,
- výchozí výkon 104 % nominální hodnoty při 6 smyčkách v provozu.

V těchto stavech pak lze dalšími předpoklady a vstupními a okrajovými podmínkami vytvořit odpovídající scénář, konzervativní z hlediska sledovaného kritéria přijatelnosti a pokrývající tak variabilitu stavů reaktoru, případně celého bloku.

Identifikace příčin a popis události

Událost (nehoda) je definována jako důsledek mechanického porušení tlakového pouzdra pohonu regulační kazety a je zařazena do kategorie havarijních podmínek. Aby k prasknutí tohoto pouzdra nemohlo dojít, a to ani u přechodových procesů, jsou pouzdra konstruována z nerezové oceli a projektována s dostatečnou mechanickou rezervou. Za provozu se v průběhu výměn paliva podrobně kontroluje jak povrch pouzder, tak svarové švy, aby se odhalila případná poškození.

Pro případ, kdyby k prasknutí přece došlo, používá se speciálního přidržovacího mechanizmu, bránícího vymrštění regulační kazety vzniklým tlakovým spádem. Jestliže by došlo i k selhání přidržovacího mechanizmu, byla by kazeta za předpokladu okamžitého poklesu tlaku v pouzdru pohonu a při zanedbání všech sil působících proti směru pohybu vysunuta z krajní dolní do krajní horní polohy za 0,1 s. Z hlediska kinetiky se jedná prakticky o skokové zvýšení reaktivity s doprovodným rychlým zvýšením neutronového výkonu, jehož růst je omezen působením zpětných vazeb reaktivity od teploty paliva (Doppler). Ke zmírnění důsledků nehody pak může významnou měrou přispět zapůsobení havarijní ochrany (zejména u výkonových stavů), které omezuje nárůst teploty paliva i pokrytí, nemůže však zabránit vytvoření vysokých maxim neutronového výkonu, které jsou pro tuto nehodu charakteristické, obzvláště v případě nulového počátečního výkonu.

Průběh události a činnost systémů

Událost vystřelení regulační kazety se vyznačuje krátkodobým průběhem s velkými a rychlými změnami parametrů aktivní zóny. To je dáno především uvažovanou dobou pro vystřelení kazety, která odpovídá nejvyšší možné teoretické rychlosti, kterou může kazeta dosáhnout po prasknutí pouzdra jejího pohonu při okamžitém vzniku tlakového

spádu mezi tlakem chladiva v aktivní zóně a atmosférickým tlakem v roztrženém pouzdře. Tato rychlost představuje zavádění kladné reaktivity rychlostí, odpovídající skokové změně reaktivity, tudíž žádná větší rychlost už nijak průběh procesu neovlivní. Událost je zařazena mezi havarijní podmínky s odpovídajícími kritérii přijatelnosti.

Přechodový proces vyvolaný vystřelením HRK je charakteristický velmi rychlým průběhem, při kterém šířka výkonového maxima dosahuje nanejvýš několik desetin sekundy. V tak krátkých časových intervalech je mechanická ochrana reaktoru pomalá, obzvláště uváží-li se navíc zpoždění řádu několika desetin sekundy. Přesto je ale účinek havarijní ochrany významný, zejména z hlediska co nejrychlejšího bezpečného ukončení procesu a účinného omezení růstu teplot v palivových proutcích. Během procesu se mohou vytvářet (uvažuje se obecně vznik situace od nulového až do plného výkonu) signály limitačního systému i systému ochran reaktoru.

Charakter procesu je kvalitativně odlišný, působí-li zpětné vazby reaktivity od samého počátku (nenulové počáteční výkonové hladiny), nebo působí-li až po nějaké době, kdy reaktivita naroste bez působení zpětných vazeb reaktivity až případně nad hodnotu, představující kritičnost na okamžitých neutronech. Průběh procesu je pak tím rychlejší, čím větší hodnota reaktivity se dosáhne před jejich účinným působením, dosahovaná maxima výkonu mohou být velmi vysoká. Na druhé straně při účinném působení zpětných vazeb reaktivity od samého počátku procesu je růst výkonu omezován průběžně, avšak i při takovém omezování by potenciálně mohla být porušena příslušná kritéria přijatelnosti vzhledem k vysokým hodnotám odpovídajících parametrů už na samém začátku. Z uvedených důvodů se jako krajní případy analyzuje vystřelení HRK při nulovém a nominálním počátečním výkonu (zvýšeném o neurčitosti).

Tlak v I.O může na počátku vzrůst, v dalším průběhu odpovídá události malé LOCA. To znamená náběh čerpadel havarijního doplňování. Tlak v hermetických prostorech je snižován činností sprchového systému.

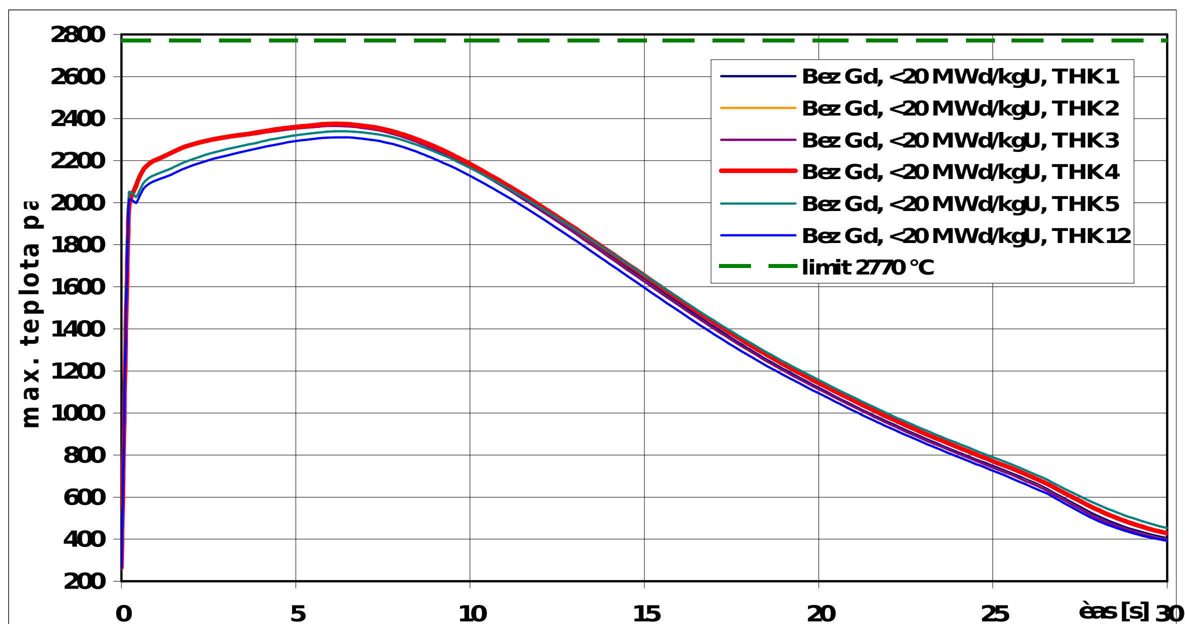
Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Událost byla analyzována v následujících 4 klíčových variantách:

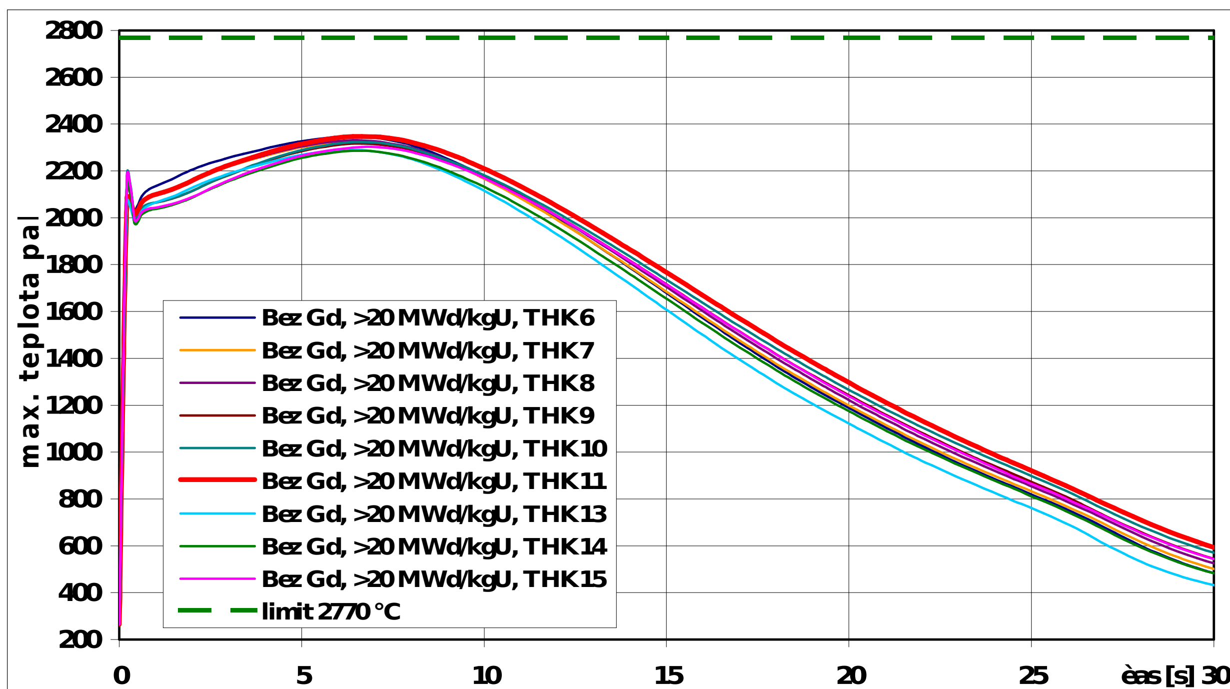
Maximalizace entalpie paliva: a) počáteční výkon 1.10^{-7} % nominální hodnoty (3 smyčky v provozu) s nulovým a kladným koeficientem reaktivity moderátoru, b) počáteční výkon 104 % nominální hodnoty. Průběh události lze ilustrovat časovým průběhem maxima teploty paliva na obr. 15.51, 15.52.

Maximalizace tlaku v I.O: počáteční výkon 104 % nominální hodnoty. Průběh události lze ilustrovat časovým průběhem maxim tlaků na obr. 15.53, 15.54.

Maximalizace úniku do okolí: počáteční výkon 104 % nominální hodnoty. Na tuto variantu navazuje analýza radiologických důsledků.



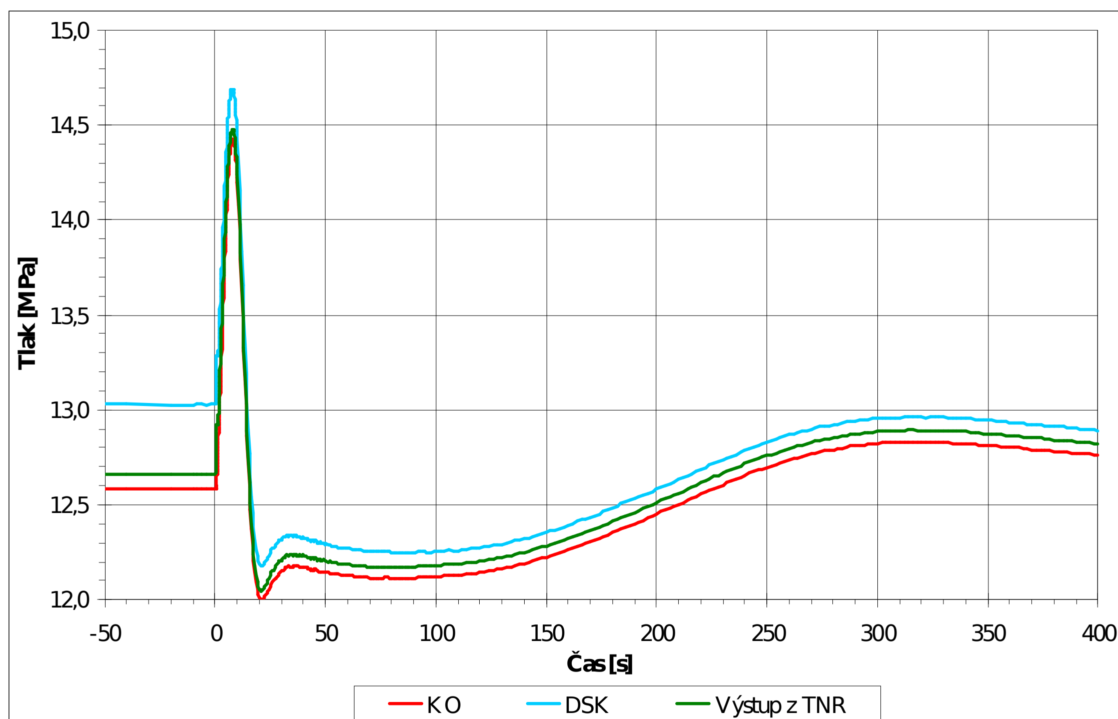
Obr. 15.51: Vystřelení jedné HRK při nulovém výkonu (maximalizace entalpie paliva): Časový průběh maximálních teplot paliva, horké kanály bez Gd, nízké vyhoření



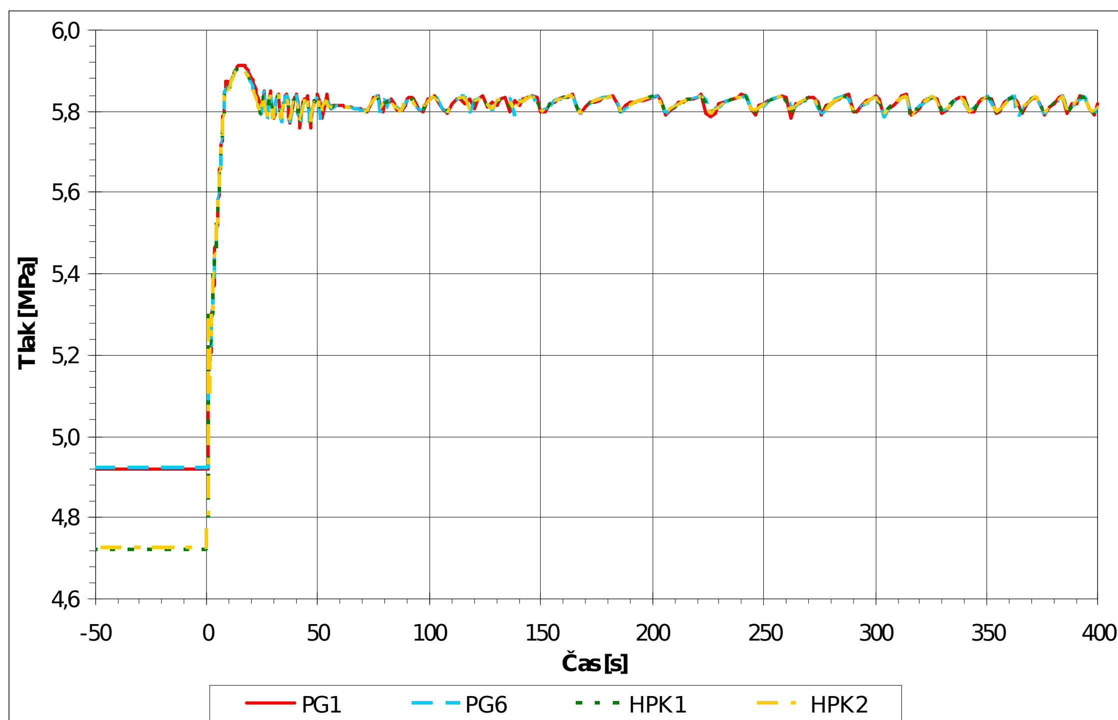
Obr. 15.52: Vystřelení jedné HRK při nulovém výkonu (maximalizace entalpie paliva): Časový průběh maximálních teplot paliva, horké kanály bez Gd, nízké vyhoření

Pro variantu s počátečním výkonem 1.10^{-7} % nominální hodnoty při kladném teplotním koeficientu reaktivity byly získány nejméně příznivé hodnoty teploty i entalpie paliva. Účinnost vystřelené HRK byla 0,8 % (u nominálního výkonu to bylo 0,25 %).

U varianty s maximalizací tlaku v I.O byl výchozím výkon 104 % nominální hodnoty, účinnost vystřelené HRK byla 0,25 %.



Obr. 15.53: Vystřelení jedné HRK při nominálním výkonu (maximalizace tlaku v I.O): Tlaky v primárním okruhu



Obr. 15.54: Vystřelení jedné HRK při nominálním výkonu (maximalizace tlaku v I.O): Tlaky v sekundárním okruhu

Pro popsané rozhodující varianty byly získány výsledky (bez rozlišení na proutky bez Gd a proutky s Gd):

Maximum teploty paliva **2375 °C** dosažené v čase 6,15 s od vzniku události (pro proutky bez Gd/s Gd) je menší než limitní hodnota **2480 °C**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum radiálně středované entalpie paliva **660 J/g** dosažené v čase 5,90 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **690 J/g**, kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **14,69 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 7,7 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

Maximum tlaku **5,93 MPa** (abs) dosažené v II.O v čase ~ 20 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **6,15 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti je splněno.

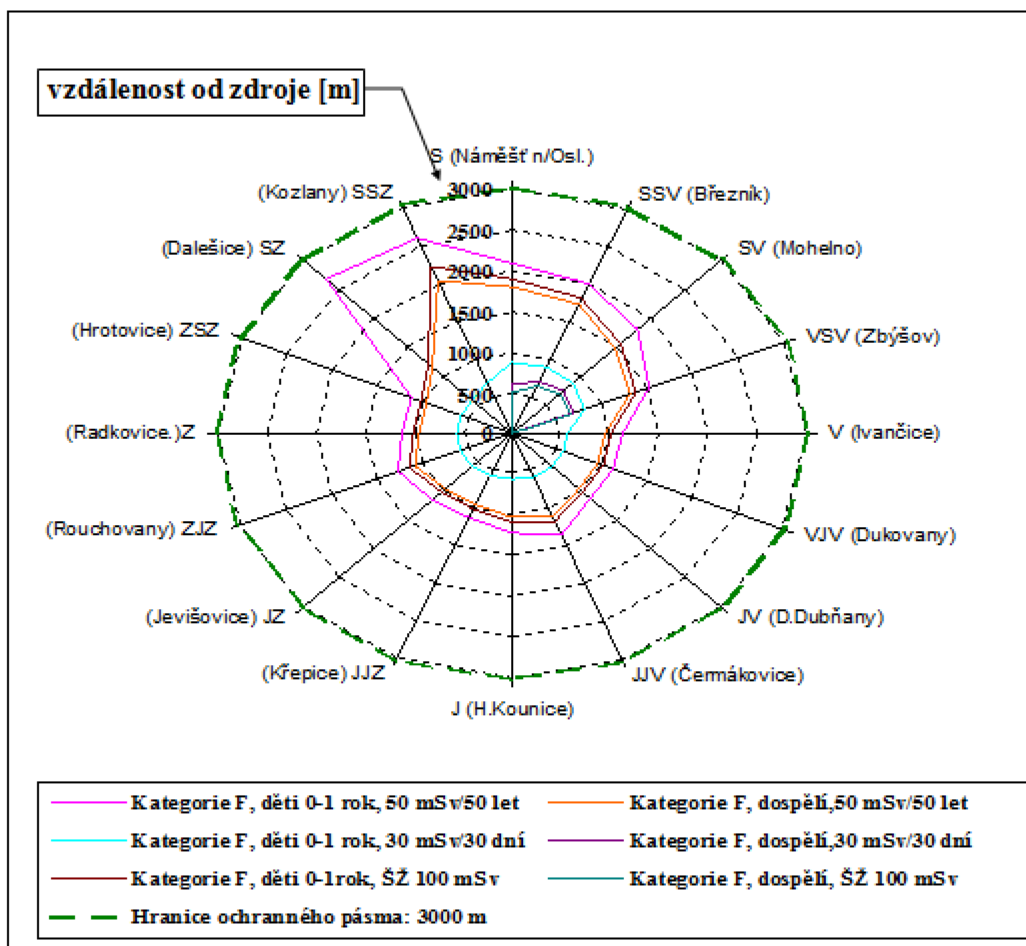
Pozn.: V mnohokanálové reprezentaci jsou specifikovaným horkým kanálům přiřazeny charakteristiky, které přibližně odpovídají vyhoření, uvedenému v legendě ke kanálu.

Přestože z analýz dodavatele paliva plyne, že vystřelení HRK nepovede k dehermetizaci palivových proutků, byl pro průkazné účely vyhodnocen velmi konzervativní počet palivových proutků, u kterých se pro účely analýzy radiologických důsledků předpokládá jejich dehermetizace. Tavení paliva se přitom nepředpokládá. Podíl počtu dehermetizovaných palivových proutků byl vyhodnocen na základě dosahované entalpie paliva, minim DNBR a teplot pokrytí paliva. Tento podíl byl stanoven na 11,5, analýzy radiologických důsledků pak byly provedeny s podílem 15 % dehermetizovaných proutků ze všech proutků v aktivní zóně.

Z provedených výpočtů vyplynulo:

Limitní efektivní dávky **10 mSv/2dny**, **30 mSv/měsíc, 50 mSv/50 let** i úvazek ekvivalentní dávky na štítnou žlázu **100 mSv** se nacházejí uvnitř ochranného pásma o poloměru 3 000 m. Tím je splněno kritérium přijatelnosti pro vystřelení HRK jako události havarijních podmínek, jejichž výskyt se za dobu provozu JE neočekává. Grafické znázornění těchto výsledků je na obr. 15.55.

Souhrnně lze konstatovat, že všechna stanovená kritéria přijatelnosti pro případ vystřelení HRK jsou splněna.



Obr. 15.55: Vystřelení HRK (počáteční výkon 1502 MW): Znázornění vzdáleností od zdroje, kde se při povětrnostní kategorii F dosahuje specifikovaná efektivní dávka (celé tělo, štítná žláza)

Nezávislá analýza: Dokumentace dodavatele paliva obsahuje analýzy dvou variant vystřelení HRK, a to:

- při výchozím výkonu 1544 MW (1485×1,04), pro konec provozu vsázky s výchozí polohou pracovní skupiny HRK 30 % od dolního okraje,

- při výkonu 14,5 MW (minimální kontrolovaný výkon), pro konec provozu vsázky, s výchozí polohou pracovní skupiny v úplně zasunuté pozici.

Obdržené výsledky potvrdily splnění analogických kritérií přijatelnosti jak uvedeno výše, navíc bylo v tomto případě splněno i kritérium nedosažení krize varu. Současně bylo konstatováno na základě termomechanických výpočtů, že k dehermetizaci palivových proutků nedojde.

15.6 Zvýšení množství chladiva reaktoru

Události, které vedou ke zvýšení množství chladiva reaktoru, jsou tvořeny následujícími skupinami:

15.5.1 Neúmyslné uvedení do činnosti systému havarijního chlazení aktivní zóny při provozu na výkonu.

15.5.2 Chybná funkce systému normálního doplňování a bórové regulace, která vede ke zvětšení množství chladiva reaktoru.

Při analýzách výše uvedených událostí jsou aplikovanými kritérii přijatelnosti: nedosažení krizových podmínek přestupu tepla na vnějším povrchu žádného palivového proutku a nepřekročení dovolené hodnoty tlaku chladiva v primárním ani sekundárním okruhu během celého procesu. Vzhledem k charakteru procesu je pro tyto události rozhodující splnění kritéria nepřekročení tlaku v primárním okruhu. Kromě toho analogie procesu obou typů událostí umožňuje v principu vyhodnocení jedné z událostí prostřednictvím události s nepříznivějšími výsledky. Zde je provedena analýza v obou případech.

15.6.1 Neúmyslné uvedení do činnosti systému havarijního chlazení aktivní zóny při provozu na výkonu

Identifikace příčin a popis události

Neúmyslné uvedení do činnosti systému havarijního chlazení aktivní zóny může být způsobeno falešnou aktivaci signálů ESFAS nebo vlivem lidského faktoru.

Systém havarijního chlazení aktivní zóny (SHCHZ) zahrnuje:

- hydroakumulátory (pasivní systém, 4 větve)
- nízkotlaký SHCHZ (aktivní systém, 3 větve)
- vysokotlaký SHCHZ (aktivní systém, 3 větve)

Vzhledem k tomu, že se analyzuje případ provozu na plném výkonu, s nominální (v mezích tolerance) hodnotou primárního tlaku, přichází do úvahy pouze chybné zapracování vysokotlakého SHCHZ. Nízkotlaká čerpadla ani hydroakumulátory se vzhledem k jejich parametrům do tak vysokého tlaku "neprosadí".

Vysokotlaký systém se skládá ze tří větví, tj. lze uvažovat start jednoho až tří čerpadel s tím, že pravděpodobnost chybného spuštění jednoho čerpadla je vyšší. Nejméně příznivým případem z hlediska zvýšení tlaku v primárním okruhu je případ chybného zapracování vysokotlakého systému havarijního chlazení aktivní zóny se startem všech tří čerpadel.

Průběh události a činnost systémů

Po nastartování vysokotlakých čerpadel dochází ke zvýšení tlaku v primárním okruhu a hladiny v kompenzátoru objemu. Vstřik bórované vody vede zároveň ke snížení výkonu reaktoru. Toto snížení je v počátku události kompenzováno činností regulátoru výkonu, kdy dochází k postupnému vytažení regulační skupiny HRK. Po jejím vytažení do horní koncové polohy se výkon reaktoru začíná snižovat, což vede ke snížení teploty chladiva v I.O, která již od počátku události klesá v důsledku vstřiku studené vody do primárního okruhu.

K odstavení reaktoru dojde od zvýšení střední hladiny v kompenzátoru objemu nebo od nárůstu tlaku v I.O. Odstavení reaktoru pak vede k odstavení turbín.

Růst tlaku chladiva v I.O vede k otevření PVKO. Při otevření těchto ventilů může dojít k roztržení membrány barbotážní nádrže, což by vedlo ke zvýšení tlaku v hermetických prostorech a následně zformování ochranných signálů.

Na sekundární straně vlivem snížení přestupu tepla z I.O v důsledku poklesu výkonu aktivní zóny dojde k poklesu tlaku média a k růstu celkových hladin v PG. V případě výrazného poklesu může dojít postupnému uzavření rychlozávěrných ventilů (RZV) TG od nízkého tlaku v HPK. Nárůst tlaku v PG po uzavření RZV TG může vyvolat pokles střední hladiny v PG, což povede k nastartování havarijních napájecích čerpadel.

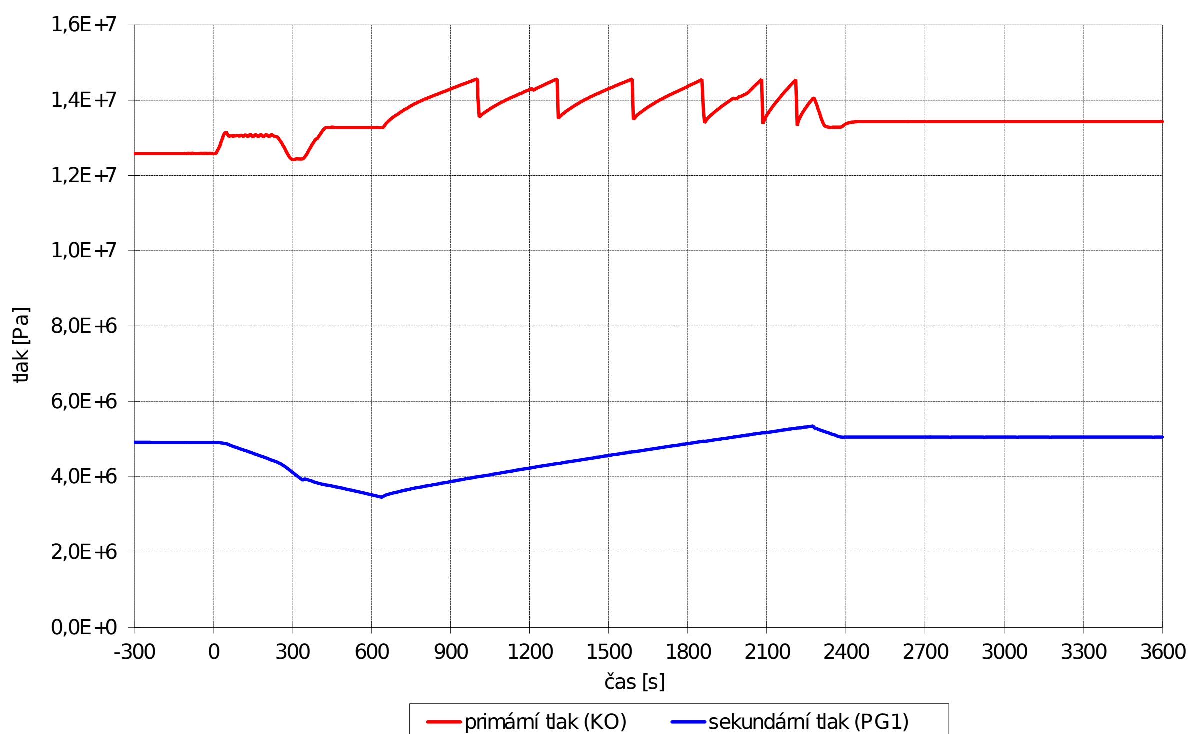
Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Událost je iniciována startem všech tří vysokotlakých čerpadel. Konzervativně není uvažován první signál RTS od převýšení tlaku v I.O, v okamžiku vzniku druhého signálu RTS je reaktor odstaven vysokou koncentrací kyseliny borité vstřikovanou vysokotlakými čerpadly. Průběh události lze ilustrovat časovým průběhem maxima tlaků v I.O a II.O na obr. 15.56.

Z hlediska tlaku v II.O není případ neúmyslného spuštění 3 vysokotlakých čerpadel limitující, překročení limitní hodnoty 6,15 MPa kritéria přijatelnosti tedy nehrozí. Maximum tlaku **15,06 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 1002 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti pro tlak v I.O je splněno. V průběhu procesu dochází k poklesu výkonu při průtoku a tlaku chladiva mírně rostoucích, tudíž tepelné parametry (minimum DNBR a maximální teplota paliva) nebudou dosahovat nepříznivějších hodnot než na počátku procesu.

Na základě uvedeného lze kritérium přijatelnosti tlak v I.O jako celku považovat za splněné. Událost neúmyslné uvedení do činnosti systému havarijního chlazení aktivní zóny při provozu na výkonu, která vede ke zvětšení množství chladiva reaktoru, splňuje stanovená kritéria přijatelnosti.

U této události nedochází k porušení palivových proutků, podle analyzovaného scénáře může dojít pouze k úniku primárního chladiva do barbotážní nádrže. Proto z této události neplynou žádné radiologické důsledky pro okolí.



Obr. 15.56: Neúmyslné spuštění 3 vysokotlakých čerpadel: Primární a sekundární tlak

15.6.2 Chybná funkce systému normálního doplňování a bórové regulace, která vede ke zvětšení množství chladiva reaktoru

Identifikace příčin a popis události

Zvýšení průtoku vody do primárního okruhu od systému normálního doplňování a bórové regulace může být způsobeno poruchou regulátoru hladiny v kompenzátoru objemu, což povede ke startu rezervního čerpadla systému normálního doplňování, zvýšení průtoku od systému doplňování a bórové regulace (TK) do primárního okruhu a k uzavření odpouštění z primárního okruhu. Další možnou poruchou může být neřízené plné otevření regulačního ventilu.

Průběh události a činnost systémů

Po zvýšení doplňování do primárního okruhu (maximální průtok od systému TK a uzavření odpouštění z I.O) v důsledku poruchy regulátoru hladiny v kompenzátoru

objemu dochází ke zvýšení hladiny v kompenzátoru objemu. Vzhledem k tomu, že tlak v doplňovací trase je udržován automaticky regulátorem otáček čerpadla na hodnotě vyšší než je tlak na výtlaku HCČ, nepředpokládá se prudké zvýšení tlaku v primárním okruhu. Růst tlaku bude zpomalován vypnutím elektroohříváků KO a sprchováním parního objemu KO. Po zvýšení střední hladiny v KO nebo při zvýšení tlaku chladiva v primárním okruhu se zformuje signál na odstavení reaktoru. Po odstavení reaktoru bude nárůst hladiny v kompenzátoru objemu zpomalen (nebo dočasně zastaven) v důsledku poklesu výkonu (poklesu teploty a nárůstu hustoty chladiva).

Na sekundární straně se po odstavení reaktoru odstaví turbíny a nárůst tlaku po uzavření rychlozávěrných ventilů TG bude regulován PSK.

Růst tlaku v I.O je zastaven činností PV KO.

Omezené množství vody v odplyňovači, při realistickém uvažování signálu od poklesu hladiny v odplyňovači při uzavřeném odpouštění, by nemělo postačit k zaplnění kompenzátoru objemu vodou. Po ukončení dodávky vody od čerpadla TK dojde k poklesu tlaku v I.O pod uzavírací tlak ventilu(ů) na kompenzátoru objemu. Další nárůst primárního tlaku může nastat po ohřevu a rozpínání primárního chladiva.

Během výtoku chladiva přes ventily KO může dojít k roztržení membrány barbotážní nádrže, což vyvolá zvýšení tlaku v hermetických prostorech a následné zformování ochranných signálů.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Událost je iniciována doplňováním ze systému TK maximální kapacitou systému. Konzervativně není uvažován první signál RTS od převýšení tlaku v I.O, reaktor je odstaven od 2. signálu od zvýšení střední hladiny v KO. Průběh události lze ilustrovat časovým průběhem maxima tlaků v I.O a II.O na obr. 15.57.

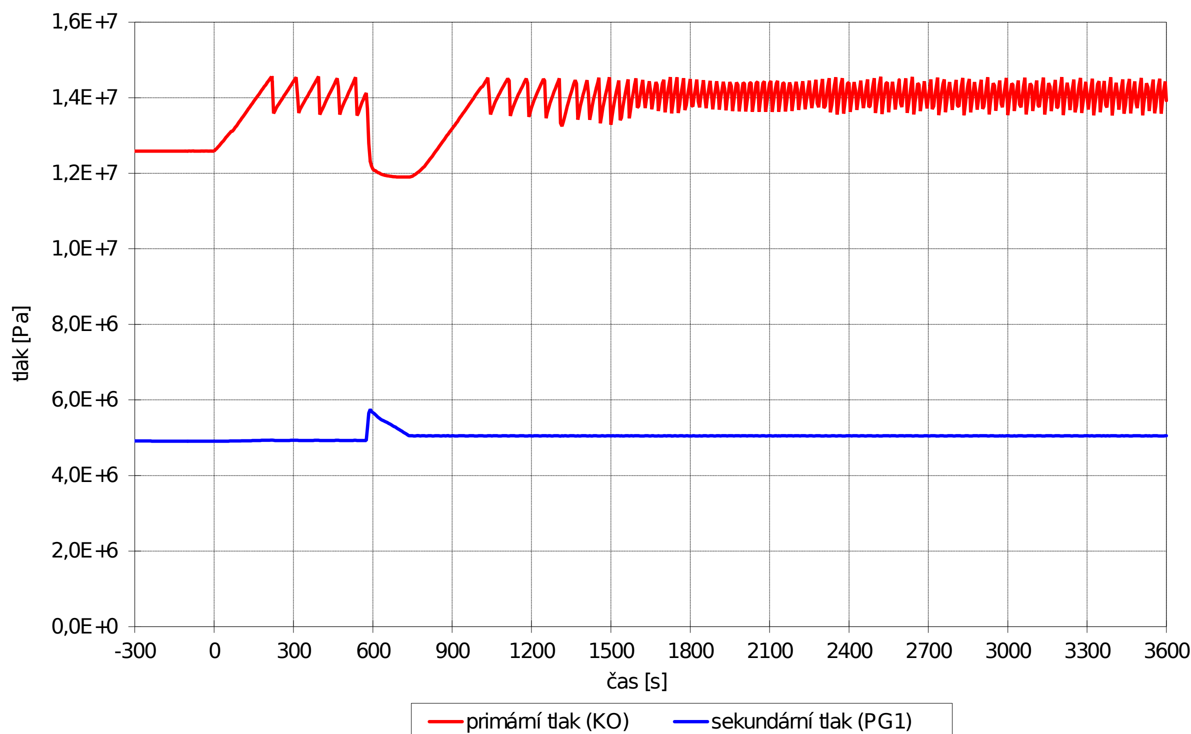
Z hlediska tlaku v II.O není případ chybné funkce systému normálního doplňování a bórové regulace limitující, překročení limitní hodnoty 6,15 MPa kritéria přijatelnosti tedy nehrozí.

Maximum tlaku **15,06 MPa** (abs) dosažené v I.O v čase 218,9 s od vzniku události je menší než limitní hodnota **15,2 MPa** (abs), kritérium přijatelnosti pro tlak v I.O je splněno.

S rezervou jsou splněna také kritéria na minimum DNBR a maximální teplotu paliva.

Na základě uvedeného lze kritérium přijatelnosti pro tlak v I.O jako celku považovat za splněné. Událost neúmyslné uvedení do činnosti systému normálního doplňování a bórové regulace při provozu na výkonu, která vede ke zvětšení množství chladiva reaktoru, splňuje stanovená kritéria přijatelnosti.

U této události nedochází k porušení palivových proutků, podle analyzovaného scénáře může dojít pouze k úniku primárního chladiva do barbotážní nádrže. Proto z této události neplynou žádné radiologické důsledky pro okolí.



Obr. 15.57: Doplňování ze systému TK maximálním průtokem: Primární a sekundární tlak

15.7 Snížení množství chladiva reaktoru

Události, které vedou ke snížení množství chladiva reaktoru (odtlakování I.O), jsou tvořeny následujícími skupinami:

15.6.1 Neúmyslné otevření pojistného nebo přepouštěcího ventilu kompenzátoru objemu
15.6.2 Prasknutí trubek instrumentace nebo jiných potrubí, která jsou připojena k tlakové hranici chladiva reaktoru, a která procházejí stěnami ochranné obálky
15.6.3 Prasknutí trubky nebo svazku trubek parogenerátoru
15.6.4 Porušení těsnosti víka kolektoru parogenerátoru z primární strany
15.6.5 Nehody se ztrátou chladiva (LOCA) v důsledku spektra postulovaných velikostí prasknutí potrubí v rámci tlakové hranice chladiva reaktoru

Každou událost v této skupině (15.6) lze chápat jako nehodu LOCA, která je obecně způsobena ztrátou integrity primárního okruhu nebo připojených potrubí a dalších zařízení. Přímou příčinou nehody může být porucha materiálu, jeho únava, vnější příčiny (vnitřní letící předměty, velké zatížení), nebo selhání zařízení za provozu elektrárny. Neúmyslné otevření ventilů kompenzátoru objemu nebo jakýchkoliv oddělovacích ventilů na tlakové hranici primárního chladiva je tedy taktéž analyzováno jako nehoda LOCA.

Všechny události v této skupině jsou zařazeny k havarijním podmínkám, přičemž aplikovatelnými kritérii přijatelnosti jsou zejména kritéria LOCA, která limitují parametry pokrytí palivových proutků (teplotu a rozsah oxidace a tvorbu vodíku). Aplikovatelnými jsou také další kritéria přijatelnosti, jejichž prostřednictvím se hodnotí havarijní podmínky. Pro všechny události této skupiny je také společným rysem potenciální únik aktivity z primárního okruhu do okolní atmosféry, a to přímou cestou, přes sekundární okruh, nebo přes hermetické prostory. Relevantními kritérii přijatelnosti jsou pak tedy též kritéria pro hodnocení radiologických důsledků nehod.

Některé z událostí jsou přitom takového charakteru, že z hlediska tepelných limitů aktivní zóny splňují kritéria přijatelnosti pro abnormální provoz, a tím jsou kritéria přijatelnosti pro havarijní podmínky splněna automaticky. Pro hodnocení radiologických důsledků nehod se obecně vyžaduje splnění kritérií pro havarijní podmínky, s případným odstupňováním podle očekávaného výskytu dané události, v příznivějších případech však mohou být taktéž splněna kritéria pro abnormální provoz.

15.7.1 Neúmyslné otevření pojistného nebo přepouštěcího ventilu kompenzátoru objemu

Identifikace příčin a popis události

Neúmyslné odtlakování primárního okruhu může nastat jako důsledek samovolného otevření pojistného nebo odlehčovacího ventilu kompenzátoru objemu. To může být způsobeno chybou regulátoru, obsluhy nebo mechanickou poruchou ventilu. Událost má za následek výtok chladiva z primárního okruhu přes porušený ventil, což vede k odtlakování primárního okruhu. K nejnepříznivějším důsledkům vede neúmyslné otevření pojistného ventilu kompenzátoru objemu, jelikož tento ventil má největší hltnost.

Z variantních výpočtů pro různý počet smyček v provozu vyplynulo, že k nejméně příznivému průběhu procesu dochází při provozu s 6 smyčkami.

Průběh události a činnost systémů

Pokud se pojistný ventil kompenzátoru objemu neuzavře impulsem od snížení tlaku v KO, měl by být uzavřen pružinou. Jestliže k uzavření nedojde, dochází ke snížení tlaku v primárním okruhu, a tedy i hustoty chladiva. Zpětná vazba od hustoty moderátoru povede ke snížení výkonu, ale díky činnosti regulačního systému reaktoru je výkon udržován až do odstavení reaktoru. Pokud nedojde včas k uzavření PVKO, vzroste tlak v barbotážní nádrži a dojde k prasknutí membrán a úniku chladiva do hermetických prostorů. Vzhledem k místu úniku nelze očekávat, že se zformují ochranné signály uvažující pokles hladiny v KO.

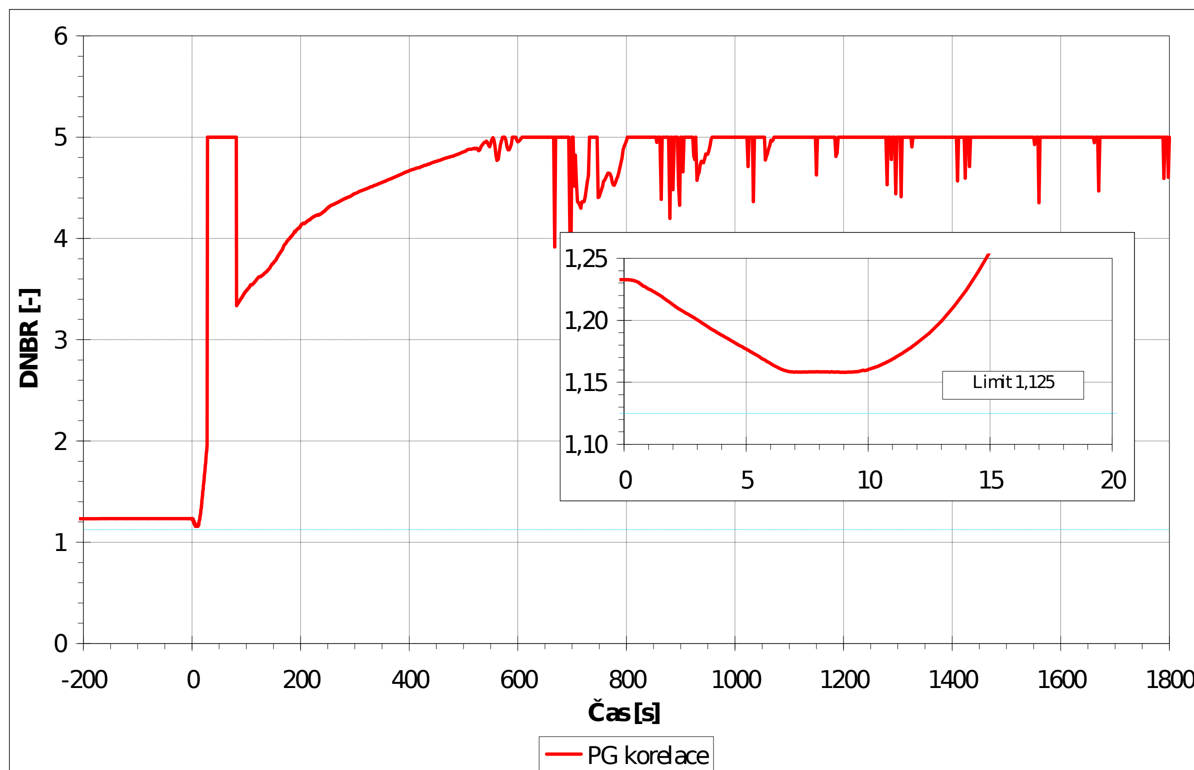
Pro odstavení reaktoru a aktivaci bezpečnostních systémů doplňování a dochlazování reaktoru existuje řada ochranných signálů.

Vypnutí HCČ znamená přechod k přirozené cirkulaci se zmenšením průtoku chladiva reaktorem. Chlazení aktivní zóny pak napomáhají vysokotlaká čerpadla, která nastartují od signálu ESFAS. Chladivo od vysokotlakých čerpadel zvýší i koncentraci kyseliny borité v I.O, takže reaktor bude odstaven, i kdyby nedošlo k odstavení od RTS. Práce třech vysokotlakých čerpadel by měla stačit na kompenzaci úniku chladiva a udržování tlaku v primárním okruhu. Dochlazování pak odpovídá malé LOCA, přičemž stav bude vždy příznivější, protože doplňované chladivo proudí odspodu přes aktivní zónu do horní směšovací komory a odtud přes KO do úniku.

Unikající chladivo nestačí odvádět teplo z primárního okruhu na začátku nehody, proto se na odvodu tepla aktivně podílí sekundární okruh. Po uzavření rychlozávěrných ventilů TG dochází k růstu tlaku v II.O, který je snižován otevřením PSK. Snížení přenosu tepla v parogenerátorech po odstavení reaktoru může vyvolat pokles střední hladiny v PG, což by vedlo k nastartování havarijních napájecích čerpadel. Po vychlazení primárního okruhu činností vysokotlakých čerpadel, která dodávají chladnou vodu, je velmi pravděpodobné, že dojde k obrácení tepelného toku na parogenerátorech a k vychlazování sekundárního okruhu přes primární okruh.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Událost je iniciována jako otevření PVKO a současně ve stejném okamžiku je uvažována ZPRZEN. Reaktor je odstaven od výpadku 4 a více HCČ trvající 3 s. Průběh události lze ilustrovat časovým průběhem minima DNBR na obr. 15.58.



Obr. 15.58: Neúmyslné otevření PVKO (minimalizace DNBR): Průběh minima DNBR

Průběh události vede u minima DNBR k následujícímu výsledku:

Minimum DNBR 1,158 dosažené v čase 8,95 s od vzniku události je větší než limitní hodnota 1,125, kritérium přijatelnosti je splněno.

Z průběhu maximální teploty paliva plyne, že během procesu nepřesáhne počáteční hodnotu, takže k porušení kritéria nedosažení teploty tavení paliva nemůže dojít.

V sekundárním okruhu dojde k mírnému vzrůstu tlaku v důsledku uzavření rychlozávěrných ventilů TG, avšak jeho maximum se nachází s velkou rezervou pod limitní hodnotou 6,15 MPa**.**

U této události nedochází k porušení palivových proutků (nad rámec odpovídající normálnímu provozu), dochází ale k úniku primárního chladiva do barbotážní nádrže a po prasknutí membrány do hermetických prostorů. Množství takto uniklého média je však výrazně menší, než množství unikající při velké LOCA (část 15.6.5). Jelikož v případě 15.6.5 je navíc postulována dehermetizace 1/3 z celkového počtu palivových proutků v AZ, budou radiologické důsledky neúmyslného otevření a nezavření PVKO podstatně příznivější, než u události 15.6.5, která splňuje radiologická kritéria pro havarijní podmínky. Tím spíš jsou pak tato kritéria splněna pro případ neúmyslného otevření a nezavření PVKO.

Celkově lze shrnout, že při uvažování prvního signálu RTS analyzovaná událost splňuje kritéria přijatelnosti pro abnormální provoz, a tím spíše splňuje kritéria přijatelnosti pro havarijní podmínky, kam je zařazena.

15.7.2 Prasknutí trubek instrumentace nebo jiných potrubí, která jsou připojena k tlakové hranici chladiva reaktoru a která procházejí stěnami ochranné obálky

Identifikace příčin a popis události

Iniciační událostí je prasknutí trubek instrumentace nebo jiných potrubí, která jsou připojena k tlakové hranici chladiva reaktoru, a která procházejí stěnami ochranné obálky. Důsledkem této události je únik primárního chladiva mimo hermetické prostory. Primární chladivo obsahuje určité množství radioaktivních látek, které tímto způsobem mohou uniknout mimo prostor jaderné elektrárny. Jako možné trasy, kudy může dojít k úniku chladiva z primárního okruhu mimo hermetickou zónu, byly vytipovány tyto případy:

- prasknutí potrubí odběru vzorků z kompenzátoru objemu,
- prasknutí potrubí organizovaných úniků mimo hermetickou zónu před rychločinnou armaturou,
- vznik (příp. falešného) signálu na start vysokotlakých čerpadel („malý únik“, „velký únik“, „roztržení HPK“)“, kdy selže start jednoho vysokotlakého čerpadla (armatury ovšem otevřou) a přes podcházející zpětnou klapku se začne I.O drenážovat do nádrže vysokotlakého systému.

Prasknutí potrubí odběru vzorků z kompenzátoru objemu:

Z kompenzátoru objemu jsou do prostoru mimo hermetickou zónu vyvedena potrubí odběru vzorků jednak z vodního objemu, jednak z parního objemu. Tato potrubí vedou do místnosti odběru vzorků, kde prochází chladiči. Na trase je několik armatur. Jakmile dojde k porušení potrubí odběru vzorků z vodního objemu, dojde k poklesu hladiny v KO. Od snížení hladiny v KO se zvýší dodávka chladiva ze systému doplňování a bórové regulace. Po vyčerpání zásoby chladiva v odplyňováku bude dodávka chladiva ze systému doplňování a bórové regulace ukončena a hladina v KO se začne snižovat až od poklesu hladiny v KO, kdy vznikne signál „malý únik“. V tomto okamžiku nastartují vysokotlaká čerpadla havarijního doplňování. Operátor může únik ukončit uzavřením armatury, která je uvnitř hermetického prostoru.

Prasknutí potrubí systému organizovaných úniků mimo hermetickou zónu před rychločinnou armaturou:

Pokud dojde k prasknutí tohoto potrubí, může chladivo z primárního okruhu proudit do prasklého potrubí přes ucpávky HCČ. Z měření prováděných přímo na EDU je zřejmé, že žádnou trasou potrubí systému organizovaných úniků neprotéká více než 2 m^3/h. Konzervativně by tedy celkový únik mohl být odhadován na 12 m^3/h. Teplota ucpávkové vody je maximálně 70°C. Únik o velikosti 12 m^3/h může být kompenzován pomocí normálního doplňování až do vyčerpání zásoby chladiva v odplyňováku. Později dojde k poklesu hladiny v KO, a odtud vznikne signál ESFAS „malý únik“. Okamžik vzniku signálu pro zapůsobení bezpečnostních systémů je možno považovat za okamžik, kdy operátor získává spolehlivou informaci o tom, že dochází k nějakému úniku. Po identifikaci události by operátor mohl ukončit únik uzavřením tras systému organizovaných úniků armaturami, které jsou uvnitř hermetické zóny.

Pokud je v odvzdušňovací nádrži zásoba 4,5 m^3 chladiva, potom bude toto chladivo vyčerpáno čerpadlem systém doplňování a bórové regulace při průtoku 12 m^3/h za 22,5 minut. Pokud by hladina v KO byla na nominální úrovni 6,45 m, potom by na úroveň vzniku signálu na havarijní odstavení reaktoru (2,24 m) klesala přibližně 6 hodin a 20 minut (odpovídá objemu 75,9 m^3). Následně by mohl být únik ukončen za 30 minut. Pokud by došlo ke ztrátě pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení, armatury na trasách systému organizovaných úniků se zpožděním 4 minut automaticky uzavírají.

Únik přes zpětnou klapku trasy vysokotlakého systému:

Pokud vznikne signál, od kterého nabíhají vysokotlaká doplňovací čerpadla (VTČ), mohlo by se stát, že se u jedné trasy otevře výtlačná trasa, ale čerpadlo z důvodu nějaké poruchy nenaběhne. Potom chladivo z I.O může unikat přes netěsnost ve zpětné klapce a recirkulační trasou do nádrže vysokotlakého systému.

Iniciační události, které mohou vést ke vzniku signálu na zahájení vysokotlakého doplňování, jsou zpravidla spojeny se snížením tlaku v primárním okruhu. Čím nižší je tlak v I.O, tím menší bude množství chladiva, které bude unikat do nádrže vysokotlakého

systému. Největšího množství uniklého chladiva bude dosaženo, pokud iniciační událostí bude falešný signál na start VTČ, přičemž nedojde k poklesu tlaku. Naopak tlak v I.O bude zvýšen prací vysokotlakých čerpadel, která od signálu naběhnou. V tomto případě bude o vzniku události operátor informován od jejího vzniku. Je tedy možné předpokládat, že by operátor mohl nejpozději po 30 minutách únik izolovat.

Průběh události a činnost systémů

Uvedené případy, vedoucí k úniku chladiva z primárního okruhu mimo hermetické prostory, mají charakter malé LOCA, přičemž únik chladiva z I.O je pouze cca 3 až 5 kg/s.

V případě *prasknutí potrubí odběru vzorků* z KO, nebo *prasknutí potrubí systému organizovaných úniků* mimo hermetické prostory, stačí na pokrytí úniku normální doplňování od čerpadel systému doplňování a bórové regulace. Nádrže tohoto systému ale mají poměrně omezenou zásobu chladiva, takže po určité době dojde k jejich vyčerpání a ukončení doplňování do I.O (a také k ukončení přívodu vody na ucpávky HCČ). To vede k úbytku chladiva v I.O, takže hladina v KO klesá. Po poklesu střední hladiny v KO pod odpovídající hodnotu dojde k rychlému odstavení reaktoru a po dalším poklesu je generován signál ESFAS „malý únik“, od něhož nabíhají VTČ, která úbytek chladiva v I.O a pokles hladiny v KO zastaví.

V případě události se vznikem signálu na start VTČ (i falešným), kdy selže start jednoho VTČ a přes podcházející zpětnou klapku se začne I.O drenážovat do nádrže vysokotlakého systému, doplňování chladiva od zbývajících VTČ únik nejen kompenzuje, ale i převyšuje. Díky vysoké koncentraci kyseliny borité v doplňovaném chladivu dojde ke snižování výkonu reaktoru. Případný zásah RTS by mohl nastat od poklesu tlaku v HPK (protože se snižuje předávaný výkon do sekundárního okruhu), od zvýšení hladiny v KO nebo od zvýšení tlaku v I.O (záviselo by na charakteristice VTČ).

Ve všech případech jsou VTČ schopna únik nejen kompenzovat, ale i převýšit, takže dojde k růstu hladiny v KO i tlaku v I.O. Lze tedy očekávat, že dojde k zapracování sprch KO, případně i ochranných ventilů na KO.

Jelikož ve výše zmiňovaných možných únikových trasách jsou armatury i uvnitř hermetických prostor, tak operátor po určení porušené trasy ukončí únik uzavřením příslušného ventilu.

Z kompenzátoru objemu jsou mimo hermetické prostory vyvedena *potrubí odběru vzorků*, a to jednak z vodního objemu, a jednak z parního objemu. Tato potrubí vedou do místnosti odběru vzorků, kde prochází chladiči a na trase je několik armatur. V případě porušení potrubí z parního objemu bude sice při stejném tlakovém rozdílu rychlost proudění páry vyšší než rychlost proudění vody v případě porušení potrubí z vodního objemu, avšak vzhledem k rozdílu hustot bude při proudění vody dosaženo většího hmotnostního průtoku. Předpokládá se tedy, že méně příznivý bude případ úniku z vodního objemu. Obzvláště to bude platit, jestliže v analýze radiologických důsledků se bude stejně jako doposud konzervativně předpokládat, že veškeré vyteklé médium se změní v páru a odnáší všechnu obsaženou aktivitu do okolí. V reálné situaci se jedná o výtok média na mezi sytosti, takže voda se při průtoku potrubím rychle odpařuje a pára velkou rychlostí strhuje kapky vody, což zvyšuje šíření radioaktivních látek. Výpočet ukázal, že hmotnostní průtok únikem je v tomto případě vyšší než 4 kg/s.

Pokud dojde k prasknutí potrubí systému organizovaných úniků, může chladivo z primárního okruhu proudit do prasklého potrubí přes ucpávky HCČ. Z měření prováděných přímo na EDU vyplývá, že žádnou trasou systému organizovaných úniků neprotéká více než 2 m^3/hod. Konzervativně by tedy celkový únik mohl být odhadován na 12 m^3/hod, což je přibližně 3,3 kg/s. Voda, která může touto trasou unikat, prochází nejdříve radiálním ložiskem HCČ a potom ucpávkou. Radiální ložisko je chlazeno pomocí autonomního okruhu HCČ. Teplota unikajícího chladiva by měla být nižší než 70°C. To znamená, že tato voda se bude jen zvolna odpařovat a uvolňování radioaktivních látek bude omezeno.

Z výpočtů vyplynulo, že při zaseknutí zpětné klapky ve vysokotlaké trase trase a nenaběhnutí příslušného VTČ je průměrný zpětný průtok do nádrže vysokotlakého

systému cca 3,4 kg/s (průtok je omezen škrtící clonou ve výtlačné trase a pak ještě několika dalšími clonami v recirkulačním potrubí). O vzniku této iniciační události, respektive o startu VTČ, je operátor informován ihned, takže se může předpokládat, že únik by byl ukončen již do 30ti minut po iniciační události.

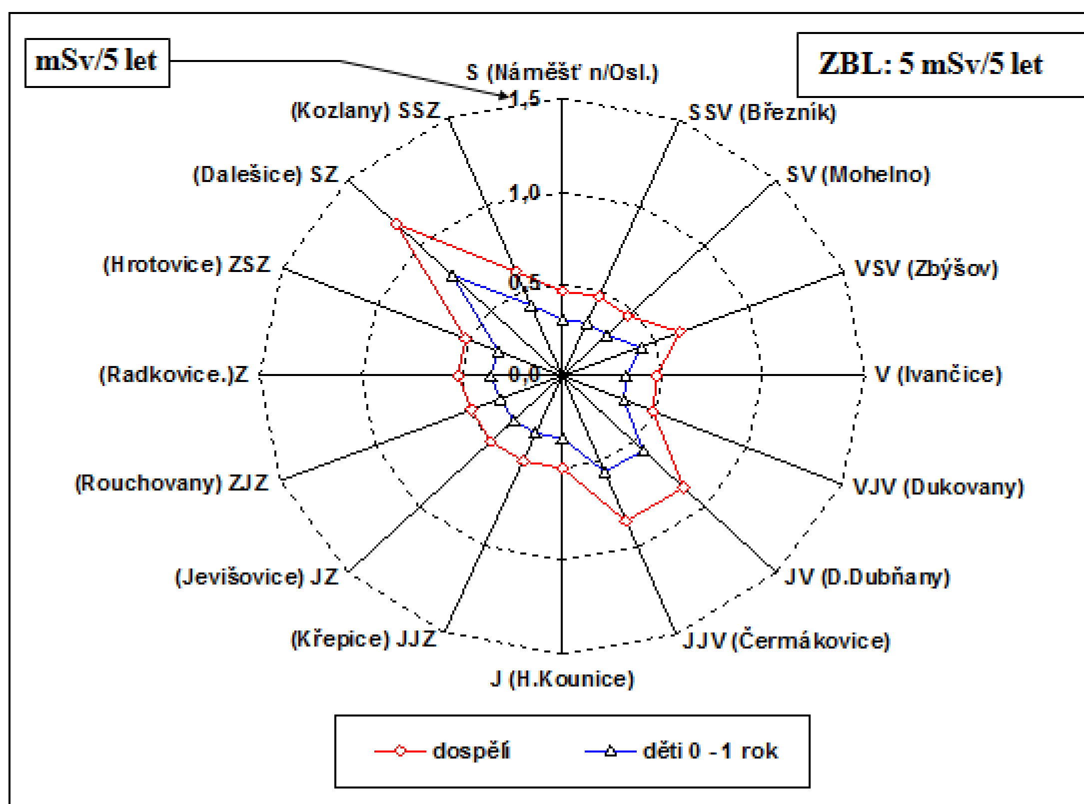
Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Z popisu výše vyplývá, že nejnepříznivější variantou je prasknutí potrubí odběru vzorků z KO, které slouží k odběru vzorků z vodního objemu. Průběh události je tak i modelován, se současným předpokladem ZPRZEN v okamžiku vzniku iniciační události, přičemž není uvažován první signál RTS od poklesu hladiny v KO, reaktor je odstaven od 2. signálu RTS od převýšení tlaku v I.O. Z provedené termohydraulické analýzy tohoto případu vyplynulo, že v průběhu procesu nedochází ani k růstu teplot paliva ani k růstu teplot pokrytí oproti výchozímu stavu, takže ani porušení palivových proutků nepřesáhne rozsah, odpovídající normálnímu provozu. Dochází tak pouze k úniku média primárního okruhu s aktivitami, které jsou za provozu udržovány v rámci Limitů a podmínek.

Celkové vyteklé množství média primárního okruhu je malé, tomu pak odpovídají celkem malé změny v parametrech primárního okruhu. Není tudíž důvod očekávat vznik jódové špičky. Konzervativně napočítané měrné aktivity v chladivu primárního okruhu byly upraveny tak, aby u sumární aktivity izotopů jódu byla dosažena právě limitní hodnota.

Pro kvantifikaci úniků chladiva z primárního a sekundárního okruhu byly využity následující důležité dílčí výsledky z termohydraulické analýzy:

- primární a sekundární tlak
- únik versus průtok ze systému havarijního chlazení aktivní zóny (plus systému doplňování a bórové regulace a systému odpouštění chladiva z primárního okruhu)
- integrál úniku a doplňování ze SAOZ
- výtok vody z úniku a jeho integrál
- výtok páry z úniku a jeho integrál
- průsak v parogenerátorech a jeho integrál
- průtok ze sekundárního okruhu do atmosféry a jeho integrál



Obr. 15.59: Prasknutí potrubí odběru vzorků z KO: Znázornění efektivních dávek za 5 let pro povětrnostní kategorii F ve vzdálenosti 3000 m od zdroje

Výpočtové efektivní dávky na celé tělo za 5 let v jednotlivých směrech pro nejnepříznivější povětrnostní podmínky ukazuje obr. 15.59. Dosažené hodnoty za hranicí ochranného pásma max. **1,7 mSv/5 let** pro dospělé a max. **1,11 mSv/5 let** pro děti splňují ZBL **5 mSv/5 let.**

Celkově lze konstatovat, že všechna sledovaná kritéria přijatelnosti byla pro analyzovanou událost splněna, přičemž v případě kritéria pro hodnocení radiologických důsledků je splněn základní bezpečnostní limit (ZBL) pro havarijní podmínky s řídkou četností výskytu.

15.7.3 Prasknutí trubky nebo svazku trubek parogenerátoru

Identifikace příčin a popis události

Možnými příčinami prasknutí trubky PG mohou být defekty svaru v místě vetknutí teplosměnné trubky v kolektoru PG nebo korozní poškození jako důsledek nesplnění požadavků provozních instrukcí parogenerátoru. Činnosti obsluhy jsou pro ukončení této události a zmírnění následků podstatné. Pro vyhodnocení vlivu zásahů operátora byla tato událost analyzována jak bez jeho zásahů, tak s jeho činností v souladu s postupy pro likvidaci mimořádných stavů (LMS). Souhrnné vyhodnocení je provedeno v části 15.6.4, kde jsou prezentovány též výsledky analýzy radiologických důsledků jako nepříznivější události z částí 15.6.3, 15.6.4. Zde budou stručně popsány výsledky aktuální analýzy s uvažováním činností operátora podle postupů pro LMS.

Jako limitní je na základě poznatků z dřívějších analýz modelován případ prasknutí jedné trubky PG za předpokladu neuzavření PSA (zaseknutí v otevřené poloze po otevření).

Průběh události a činnost systémů

Únik chladiva z primárního do sekundárního okruhu přes roztrženou trubku PG patří ke kompenzovatelným únikům. S poklesem hladiny v KO je uzavřeno odpouštění z I.O a zvýšení doplňování zapnutím druhého čerpadla systému doplňování a bórové regulace. Snížení primárního tlaku je kompenzováno postupným zapnutím skupin elektroohříváků KO. Po poklesu hladiny v pracovním odplyňováku systému doplňování I.O dojde k přerušení doplňování a množství vody v I.O se začne snižovat. Zmenšení hustoty chladiva v důsledku většího ohřevu vede v případě, že blok je na konci palivového cyklu (nulová koncentrace kyseliny borité), ke snížení výkonu reaktoru, který je pak udržován regulačním systémem reaktoru. V případě nenulové koncentrace H_3BO_3 je výsledný výkon závislý na vlivu koeficientů reaktivity od hustoty moderátoru a koncentrace H_3BO_3.

U takto malého úniku je vyšší pravděpodobnost zformování signálu na RTS od poklesu hladiny v KO než od poklesu tlaku. Proto lze očekávat zformování signálu „malý únik“ (od poklesu hladiny v KO) a nastartování vysokotlakých čerpadel. Dodávka bórové vody by pak způsobovala snižování výkonu, který by regulační systém reaktoru udržoval vysouváním regulačních kazet.

Pro odstavení reaktoru existuje několik potenciálních možností vzniku RTS signálu na odstavení reaktoru, na sekundární straně lze očekávat odstavení turbíny po odstavení reaktoru nebo od zvýšení střední hladiny v PG. Otevření PSK, příp. PSA pak udržuje tlak v II.O, v I.O je pokles tlaku zastaven činností vysokotlakých čerpadel.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Prasknutí trubky PG je kombinované se ztrátou napájení vlastní spotřeby (ZPRZEN), což způsobí odstavení HCČ, elektronapájecích čerpadel, čerpadla systému doplňování a bórové regulace, elektroohříváků KO a turbíny. Výpadek HCČ vede ke snížení průtoku chladiva reaktorem, zhoršení odvodu tepla z I.O (ke kterému přispívá i nárůst tlaku v II.O po odstavení turbíny), což způsobí nárůst primárního tlaku. Není uvažován první signál

RTS od poklesu hladiny v KO, reaktor je odstaven od 2. signálu RTS od překročení tlaku v I.O.

Z termohydraulické analýzy vyplynulo, že tlak v I.O ani tlak v II.O nepatří k limitujícím parametrům pro tuto událost, po celou sledovanou dobu nedosáhne tlak v I.O hodnotu 14,5 MPa. V II.O dojde k nárůstu tlaku v počátku procesu (na úroveň otvíracího tlaku PVPG) jako důsledku uzavření rychlozávěrného ventilu TG po ZPRZEN, v dalším průběhu tlak už nedosáhne ani počáteční nominální hodnoty.

Z průběhů maximálních teplot paliva a pokrytí plyne, že ani k růstu teploty pokrytí ani k růstu teploty paliva oproti výchozím hodnotám za normálního provozu nedochází, takže kritéria pro nepřekročení teploty pokrytí a nedosažení teploty tavení paliva jsou splněna s velkou rezervou. Navíc, nejnižší dosažená hodnota minima DNBR **1,189** v čase 12,0 s je vyšší, než limitní hodnota **1,125**, takže je splněno o kritérium nedosažení krize varu.

K porušení palivových proutků (nad rámec odpovídající normálnímu provozu) u této události nedochází, dochází ale k úniku primárního chladiva do sekundárního okruhu, a pak dále přepouštěcími zařízeními do okolí EDU. Množství takto uniklého média je však výrazně menší (integrál úniku do atmosféry **130815 kg**), než množství unikající při porušení těsnosti víka kolektoru PG (integrál úniku do atmosféry **798225 kg**). Proto budou radiologické důsledky této události příznivější než radiologické důsledky porušení těsnosti víka kolektoru PG, analyzované v části 15.6.4. Jelikož událost 15.6.4 splňuje radiologické kritérium přijatelnosti pro havarijní podmínky s řídkou četností výskytu, tím spíše je toto kritérium splněno i pro případ prasknutí trubky PG.

Celkově lze konstatovat, že sledovaná kritéria přijatelnosti byla pro analyzovanou událost splněna, přičemž radiologické důsledky nebudou nepříznivější než v případě 15.6.4.

15.7.4 Porušení těsnosti víka kolektoru parogenerátoru z primární strany

Identifikace příčin a popis události

K porušení těsnosti PG může dojít v důsledku současného přetržení všech svorníků spojujících víko s kolektorem PG na primární straně (např. působením osových sil, vibrací, koroze apod.), přičemž průřez, kterým může protékat primární chladivo do parogenerátoru, je limitován technologickou mezerou mezi horním hrdlem kolektoru a odpovídajícím průchodem pláštěm PG. Odpovídající ekvivalentní průměr při roztěsnění víka kolektoru PG může podle výkresové dokumentace dosahovat vlivem tolerancí hodnoty od 107 mm do 120 mm.

Činnosti obsluhy jsou pro ukončení této události a zmírnění následků podstatné, proto jsou simulovány v souladu s příslušným předpisem. Z řady dřívějších analýz vyplynula z hlediska radiologických důsledků jako nejméně příznivá varianta s únikovým ekvivalentním otvorem 120 mm a s předpokladem neuzavření PVPG (zaseknutí v otevřené poloze po otevření).

Průběh události a činnost systémů

V případě normálních funkcí všech systémů elektrárny lze průběh události charakterizovat následujícím způsobem:

Únik chladiva z primárního do sekundárního okruhu přes otevřené víko kolektoru PG způsobuje rychlé zvýšení hladiny vody v poškozeném parogenerátoru a rovněž zvýšení tlaku v systému ostré páry. V krátké době se aktivuji ochranné signály PG, odstavení turbín lze očekávat především od zvýšení hladiny v poškozeném PG. Dojde ke zformování RTS signálu od zvýšení tlaku v HPK.

V primárním okruhu dochází k poklesu tlaku a ke zmenšení objemu chladiva, což se projevuje poklesem hladiny v KO, od kterého se aktivují signály na uzavření odpouštění chladiva z I.O a zvýšení doplňování zapnutím druhého čerpadla systém doplňování a bórové regulace. Vzhledem k relativně velkému únikovému otvoru lze v celkem krátké

době očekávat zformování několika signálů od poklesu primárního tlaku a hladiny chladiva v KO.

Od signálu ESFAS „velký únik“ se odstaví HCČ. Nastartování vysokotlakých čerpadel od signálu ESFAS „malý únik“nebo „velký únik“ přispěje k chlazení aktivní zóny. V relativně krátkém čase lze očekávat sblížení tlaků v primárním a sekundárním okruhu a zmenšení úniku.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Událost je modelována jako uvolnění víka studeného kolektoru PG, přičemž v jejím průběhu se konzervativně neuvažuje působení 1. signálu RTS od poklesu tlaku v I.O a současně snížení hladiny v KO) ani 2. signálu od dalšího poklesu hladiny v KO. Reaktor je odstaven až od 3. signálu RTS od poklesu tlaku v I.O pod nastavenou hodnotu. Po 30 minutách vstupuje do řízení události operátor v souladu s příslušným předpisem pro likvidaci mimořádných stavů.

Z termohydraulické analýzy přechodového procesu plyne, že u této události nepatří tlak v I.O k limitujícím parametrům. Z průběhu tlaků v II.O je vidět krátkodobé významnější zvýšení zejména u postiženého PG, do kterého proudí velké množství primárního média, což je ještě zesíleno odstavením obou TG. Přesto dosažené maximum tlaku **5,83 MPa** v čase 23,0 s splňuje příslušné kritérium s limitní hodnotou **6,15 MPa**.

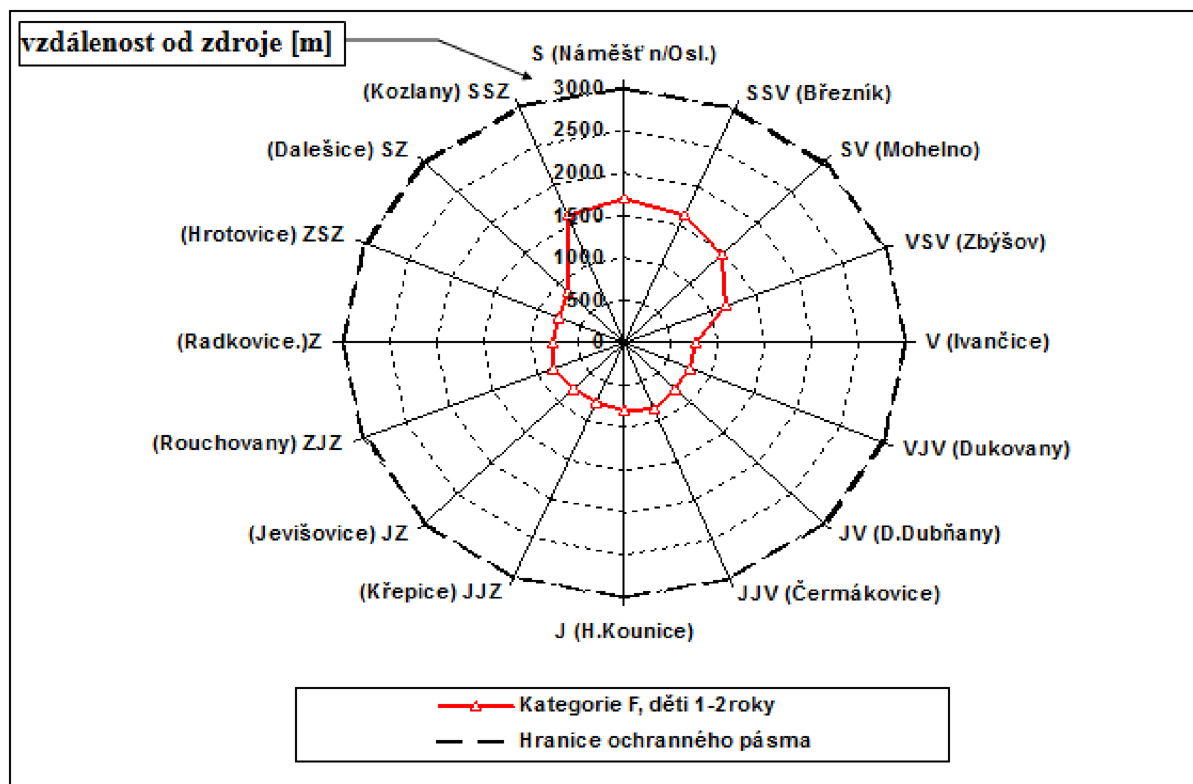
Z výsledků také plyne, že ani maximální teplota paliva ani maximální teplota pokrytí nejeví známky růstu oproti hodnotám výchozího stacionárního stavu normálního provozu. Z toho plyne splnění kritéria nepřekročení teploty pokrytí s limitující teplotou pokrytí 1200 °C a absence potenciálního rizika nesplnění souvisejících kritérií na oxidaci pokrytí a tvorby vodíku.

Ze získaného průběhu minima DNBR plyne, že dosažená nejmenší hodnota **1,247** v čase 15,5 s se nachází s dostatečnou rezervou nad limitní hodnotou **1,125**. V dalším průběhu procesu vyroste na hodnoty značně vzdálené od tohoto limitu. Tím je ověřeno, že během analyzovaného procesu nedojde k porušení palivových proutků nad rámec porušení při normálním provozu, dochází ale k úniku primárního chladiva do sekundárního okruhu, a pak dále přepouštěcími zařízeními do okolí EDU. Množství takto uniklého média je však výrazně větší (integrál úniku do atmosféry při ekvivalentním otvoru 120 mm je 798225 kg), než množství unikající při prasknutí trubky PG s ekvivalentním otvorem 2×13,2 mm (integrál úniku do atmosféry 130815 kg).

Kromě výše zmíněných výsledků termohydraulických analýz jsou mezi základními předpoklady scénáře, popisujícího únik aktivity do atmosféry, zahrnuty (kromě jiných) také následující předpoklady:

- Vychází se z konzervativních hodnot rovnovážných aktivit I.O, které jsou navýšeny na limitní hodnoty jódů v souladu s Limity a podmínkami a je uvážena jódová špička faktorem 60 a špička pro inertní plyny faktorem 10.
- Tepelná vydatnost zdroje (vznos) je zahrnuta hodnotou 22,1 MW po dobu trvání události (~ 3,2 hod.).
- Uvažovaná výška úniků je 40 m.
- O formě I uvolňovaného do ŽP se konservativně předpokládá: - molekulární forma 10 %
  - aerosolová forma 90 %

Znázornění vzdálenosti, na které se dosahuje efektivní dávka na celé tělo 5 mSv/5 let (ZBL), ukazuje pro nejnepříznivější povětrnostní kategorii obr. 5.60.



Obr. 5.60: Porušení těsnosti víka kolektoru PG: Znázornění vzdáleností od zdroje, kde se při nejnepříznivější povětrnostní kategorii F dosahuje efektivní dávka na celé tělo 5 mSv/5 let (vzdálenosti pro děti 1-2 roky, dospělí ve vzdálenosti < 500 m)

Splnění kritéria nepřekročení dávek u radiologických důsledků je prokázáno prostřednictvím dosažené maximální efektivní dávky na celé tělo pro nejnepříznivější povětrnostní kategorii v nejnepříznivějším směru **pod 2,1 mSv/5 let** pro děti 1-2 roky (pro dospělé pod 0,5 mSv/5 let) na hranici ochranného pásma. Základní bezpečnostní cíl (1 mSv/rok) je splnitelný pro všechny kategorie počasí a všechny věkové skupiny obyvatel ve vzdálenosti nad ~ 4 km od zdroje).

Celkově lze konstatovat, že sledovaná kritéria přijatelnosti byla pro analyzovanou událost splněna, přičemž pro radiologické důsledky je v souladu se zásadami aplikace kritérií přijatelnosti postačující v tomto případě splnění základního bezpečnostního limitu (ZBL). Současně lze konstatovat, že případ porušení víka kolektoru PG (s uvažováním zásahů operátora v souladu s postupy pro likvidaci mimořádných stavů) s ekvivalentním únikovým otvorem 120 mm je reprezentativní událostí případů úniku z primární na sekundární stranu PG a dále do okolní atmosféry (zahrnující i prasknutí trubky PG).

15.7.5 Nehody se ztrátou chladiva (LOCA) v důsledku spektra postulovaných velikostí prasknutí potrubí v rámci tlakové hranice chladiva reaktoru

Identifikace příčin a popis události

Menší únik chladiva z chladné větve smyčky primárního okruhu vede k poklesu tlaku a zmenšení objemu chladiva v I.O, což se projevuje poklesem hladiny v KO. Pokles výkonu od zpětných vazeb je v této fázi kompenzován činností regulačním systémem reaktoru. Výtok horkého média do hermetických prostorů v nich vyvolává nárůst tlaku.

V případě velkých úniků dochází k velkému výtoku horkého média do hermetických prostorů, což vede k velmi rychlému poklesu tlaku v primárním okruhu a hladiny v KO a nárůstu tlaku v hermetických prostorech.

Všechny případy úniků chladiva jsou doprovázeny zhoršením chlazení aktivní zóny a s potenciální možností porušení palivových proutků v závislosti na stupni porušení integrity primárního okruhu.

Celé spektrum možných prasknutí potrubí, náležejících k tlakové hranici primárního okruhu, bylo reprezentováno následujícími variantami úniků chladiva z I.O:

- únik chladiva z chladné větve o ekvivalentním průměru 50 mm - varianta A,
- únik chladiva z chladné větve o ekvivalentním průměru 90 mm - varianta B,
- únik chladiva z chladné větve o ekvivalentním průměru 130 mm,
- prasknutí spojovacího potrubí mezi sestupnou šachtou reaktoru a hydroakumulátorem o ekvivalentním průměru 2×233 mm - varianta C,
- gilotinové prasknutí hlavního cirkulačního potrubí o ekvivalentním průměru 2×496 mm - varianta D,
- gilotinové prasknutí hlavního cirkulačního potrubí o ekvivalentním průměru 2×496 mm - varianta E (maximalizace úniku radioaktivních látek do okolí JE).

V projektových předpokladech se pro úspěšné zvládnutí LOCA uvažuje se správným zapracováním jediné divize bezpečnostních systémů – jedna divize je v opravě, na jedné další působí jednoduchá porucha a třetí splní bezpečnostní funkci.

V některých případech (např. gilotinové prasknutí hlavního cirkulačního potrubí o ekvivalentním průměru 2×496 mm - varianta D) se LOCA postuluje na chladné větvi 1. smyčky. Při takto umístěné LOCA není snížena funkce jediné dostupné divize bezpečnostního systému, protože žádné čerpadlo systému havarijního chlazení zóny (SHCHZ) není zaústěno do chladné větve 1. smyčky. Chladící médium tak musí projít aktivní zónou dříve, než dojde k jeho úplné, či částečné ztrátě přes LOCA.

Pokud by se však LOCA uvažovala na smyčce, do které je zaústěn výtlak jediného dostupného čerpadla SHCHZ, bylo by ohroženo plnění bezpečnostních funkcí systému SHCHZ, protože při některých LOCA by došlo ke ztrátě veškeré chladící vody z výtlaku čerpadla SHCHZ dříve, než by prošla aktivní zónou.

Průběh události a činnost systémů

V případě normální funkce všech systémů elektrárny lze (očekávaný) průběh události popsat zhruba následujícím způsobem:

Menší únik chladiva z primárního okruhu vede ke zmenšení objemu chladiva v I.O, což se projevuje poklesem tlaku v I.O a hladiny v KO. Pokles výkonu od zpětných vazeb je v této fázi kompenzován činností regulačního systému reaktoru. Výtok horkého média do hermetických prostorů v nich vyvolává nárůst tlaku. V závislosti na podmínkách úniku lze ve velkém časovém rozmezí očekávat zformování signálů od zvýšeného tlaku v hermetických prostorech a od poklesu primárního tlaku a hladiny v KO.

Se zpožděním 5 s po odstavení reaktoru se předpokládá odstavení turbín a snížení nárůstu tlaku v systému ostré páry po uzavření rychlozávěrných ventilů (RZV) TG zapracováním PSK. Nárůst tlaku v PG po uzavření RZV TG může vyvolat pokles střední hladiny v parogenerátorech, což povede k nastartování havarijních napájecích čerpadel (HNČ). Dodávka vody do I.O od vysokotlakých čerpadel (VTČ), která nastartují od sumárního signálu ESFAS, by měla zastavit pokles tlaku v primárním okruhu a hladiny v KO, tj. únik bude kompenzován doplňováním.

Doplňování chladné vody by mělo ovlivnit teploty v I.O. Je velmi pravděpodobné, že teplota chladiva v primárním okruhu poklesne pod teplotu média na sekundární straně PG s následným vychlazováním sekundárního okruhu a poklesem tlaku v něm. Dalším důsledkem vychlazování by bylo zvýšení celkové hladiny vody v PG a později i střední hladiny s možným zformováním ochranných signálů PG od nárůstu hladiny v PG.

V případě ***velkých úniků*** dochází k velkému výtoku horkého média do hermetických prostorů, což vede k velmi rychlému poklesu tlaku v primárním okruhu a

hladiny v KO a nárůstu tlaku v hermetických prostorech. Vzhledem k rychlým změnám parametrů je doba zformování signálů určena zejména zpožděním aktivace výstupního signálu v příslušném systému. V prvních vteřinách procesu lze očekávat signály od zvýšení talku v hermetických prostorech, od poklesu talku v I.O, od odstavení 4 a více HCČ, atd.

Se zpožděním 5 s po odstavení reaktoru se předpokládá odstavení turbín a snížení nárůstu tlaku v systému ostré páry po uzavření RZV TG zapracováním PSK. Vzhledem k velikosti úniků se předpokládá, že většina (nebo veškerá) energie se bude odvádět z I.O únikem, proto bude vliv II.O na průběh malý. Nárůst tlaku v PG po uzavření RZV TG může vyvolat pokles střední hladiny v parogenerátorech, což povede k nastartování HNČ.

Dodávka vody do I.O od VTČ, která nastartují od signálu ESFAS, zlepší chlazení palivových proutků, ale nezastaví pokles tlaku v primárním okruhu a v krátké době zapracují hydroakumulátory. Doplňování velkého množství chladné vody zvedne hladinu v reaktoru, ale díky kondenzaci páry přispěje k poklesu primárního tlaku. Během relativně krátké doby by tlak měl poklesnout pod závěrný tlak NTČ, která nabíhají od signálu ESFAS.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Jak vyplynulo z provedených analýz, nepatří tlak v I.O ani tlak v II.O k limitujícím parametrům pro žádnou z variant uvažované události, a to i přes zvýšení tlaku v II.O v důsledku uzavření RZV TG. Dosahované tlaky v II.O nedosáhnou hodnoty **6 MPa**, což je nižší hodnota než limit **6,15 MPa** příslušného kritéria přijatelnosti, kritérium je tedy splněno. Primární tlak nevzroste nad výchozí hodnotu normálního provozního režimu.

Analogicky v případě maximální teploty paliva, nepřekročí její hodnota výchozí maximum pro předcházející normální provoz, takže se nachází dostatečně daleko od limitní hodnoty kritéria nedosažení teploty tavení paliva.

Z hlediska maximální teploty pokrytí a maxim oxidace a produkce vodíku je nejnepříznivější variantou roztržení potrubí I.O o maximálním průměru **2×496 mm** - varianta D. Pro tuto variantu platí (pro ilustraci viz obr. 15.61):

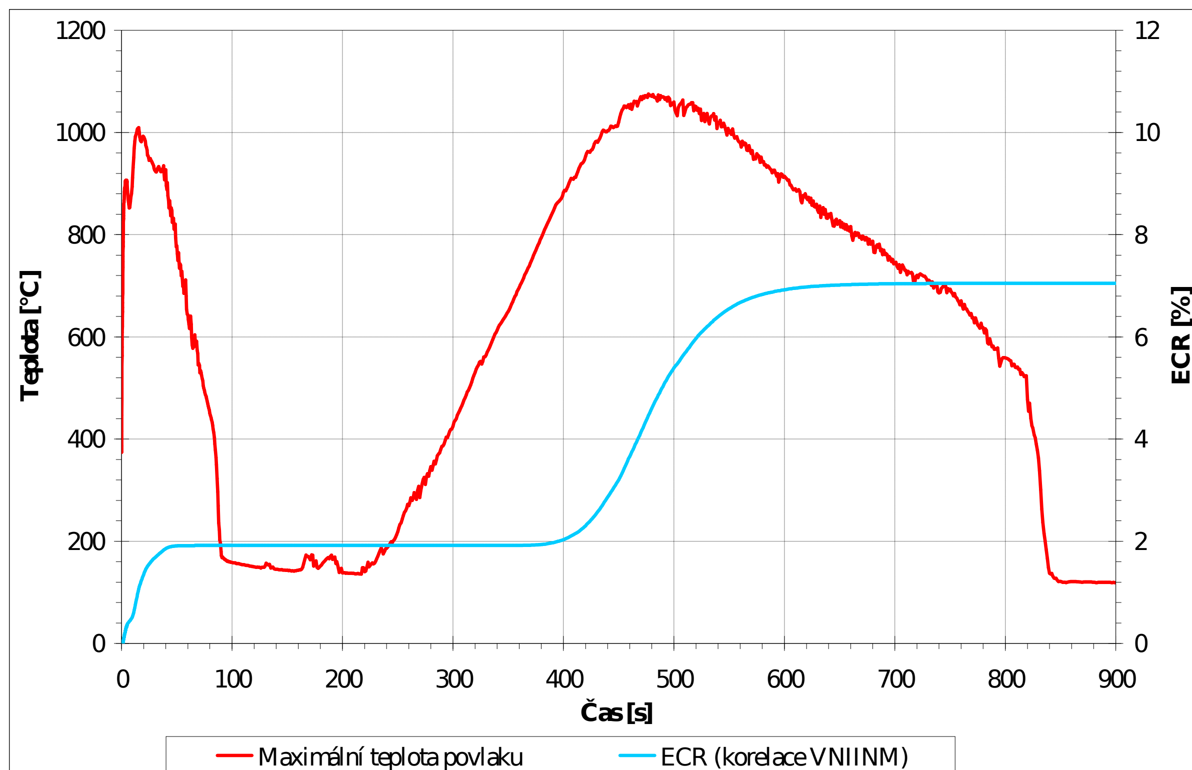
Gilotinové roztržení chladné větve smyčky v blízkosti reaktorové nádoby vede k velmi silnému výtoku chladiva z primárního okruhu. Dochází k prudkému poklesu tlaku v I.O a následně k intenzivnímu varu v reaktoru, což vede k odhalování aktivní zóny a ke zhoršení odvodu tepla z paliva, a tím i k nárůstu teploty pokrytí palivových proutků. První pík je 1010 °C (obr. 15.61).

Silný var v aktivní zóně vede také k samovolnému odstavení reaktoru, takže zásah RTS nemá výraznější vliv na průběh výkonu v počáteční fázi procesu. Jako první ze signálů na rychlé odstavení reaktoru, jež ale není uvažován, vzniká signál od zvýšení přetlaku v hermetických prostorech. S minimálním odstupem pak vzniká signál od poklesu tlaku v I.O, který již vede k zásahu RTS. U obou signálů je dominantní vliv zpoždění (mezi dosažením mezní hodnoty a vytvořením daného signálu).

Maximální teplota pokrytí palivového proutku **1076 °C** byla dosažena v čase 477 s, což je nižší hodnota než limit dle příslušného kritéria přijatelnosti **1200 °C**, takže kritérium je splněno.

Maximální lokální oxidace pokrytí **7,05 %** jeho počáteční tloušťky, což je s dostatečnou rezervou pod limitní hodnotou **18 %** kritéria přijatelnosti.

Taktéž maximum zreagovaného množství materiálu pokrytí odpovídající **0,045 %**, které bylo napočítáno jako maximum, se nachází s dostatečnou rezervou pod limitní hodnotou **1 %** kritéria přijatelnosti.



Obr. 15.61: LOCA 2x496 mm na chladné větvi smyčky u reaktoru (maximalizace teploty pokrytí): Maximální teplota pokrytí a ekvivalentní oxidace

Dodavatelem paliva byly provedeny podrobné termomechanické analýzy chování paliva v podmínkách roztržení cirkulační smyčky s ekvivalentním průměrem 500 mm (tj. 2×496 mm) a bylo doloženo, že k dehermetizaci palivových proutků nedojde K analogickému závěru vedly také nezávislé termomechanické analýzy domácích organizací.

Přes uvedené konstatování se pro analýzy radiologických důsledků LOCA s roztržením potrubí o největším průměru konzervativně předpokládá dehermetizace 1/3 z celkového počtu palivových proutků v aktivní zóně. Jako výtokové charakteristiky byly použity výsledky varianty E s konzervativními počátečními a okrajovými podmínkami včetně nejméně příznivé konfigurace dostupných systémů havarijního chlazení aktivní zóny. Hlavní výsledek z hlediska návazných analýz radiologických důsledků, ukazuje obr. 15.62.

Základní charakteristiky scénáře, popisujícího únik aktivity do atmosféry, založeného na výsledcích konzervativní termohydraulické analýzy varianty E, lze v souladu s použitým metodickým přístupem shrnout do následujících bodů (kromě konzervativních předpokladů uvedených již výše):

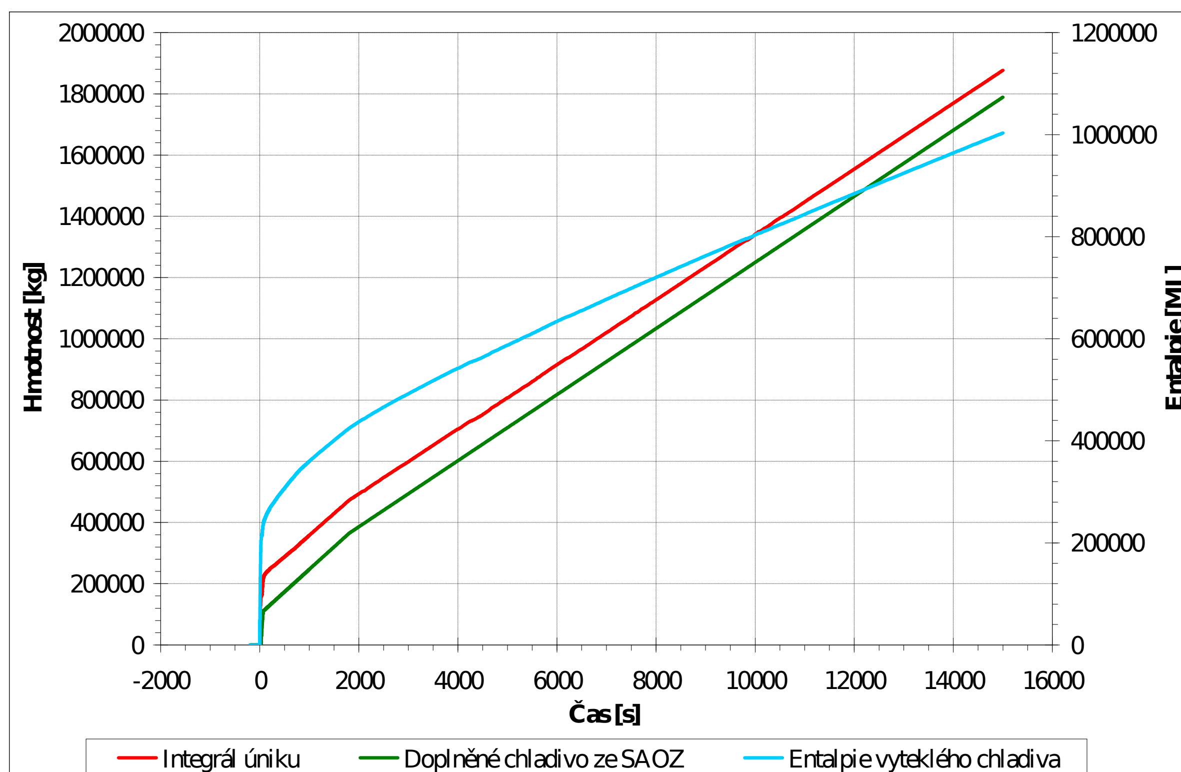
- minimální počet dostupných havarijních systémů: jeden ze tří vysokotlakých, jeden ze tří nízkotlakých, jeden ze čtyř hydroakumulátorů,
- konzervativně nízké charakteristiky čerpadel havarijního systému chlazení zóny,
- maximální teploty v nádržích a potrubích a při chlazení výměníků,

- bilance štěpných produktů v aktivní zóně vycházející z konzervativně uvažovaných skupin dle vyhoření, s maximálním středním vyhořením kazet po 6-ti letech provozu 66 MWd/kgU,
- celá frakce štěpných produktů přítomná v prostoru pod pokrytím palivových proutků se uvolní během 30 sekund od iniciace nehody,
- uvažují se úniky netěsností hermetických prostor i vzduchotechnickým systémem,

- neuvažuje se tepelná vydatnost zdroje (vznos),
- uvažovaná výška úniků 25 m (z hermetických prostor) a 125 m (ze vzduchotechniky),
- pro krátkodobé efektivní a ekvivalentní dávky (za 2 dny, 7 dní a 1 měsíc) se konzervativně předpokládá, že aktivity deponované na terénu ubývají pouze radioaktivním rozpadem, nikoliv sekundárními procesy (splach, vsak ap.); pro dlouhodobé úvazky radiologických veličin (1 rok, 5 roků a 50 roků) se předpokládá odstraňování z terénu sekundárními procesy s poločasem T ≈ 1 rok.

Úniky aktivity jsou následující:

Únik přes vzduchotechnický systém (výška 125 m): $1{,}108.10^{14}$ Bq
Únik netěsnostmi hermetických prostor (výška 25 m): $1{,}847.10^{15}$ Bq
Celkový únik aktivity: $1{,}958.10^{15}$ Bq.



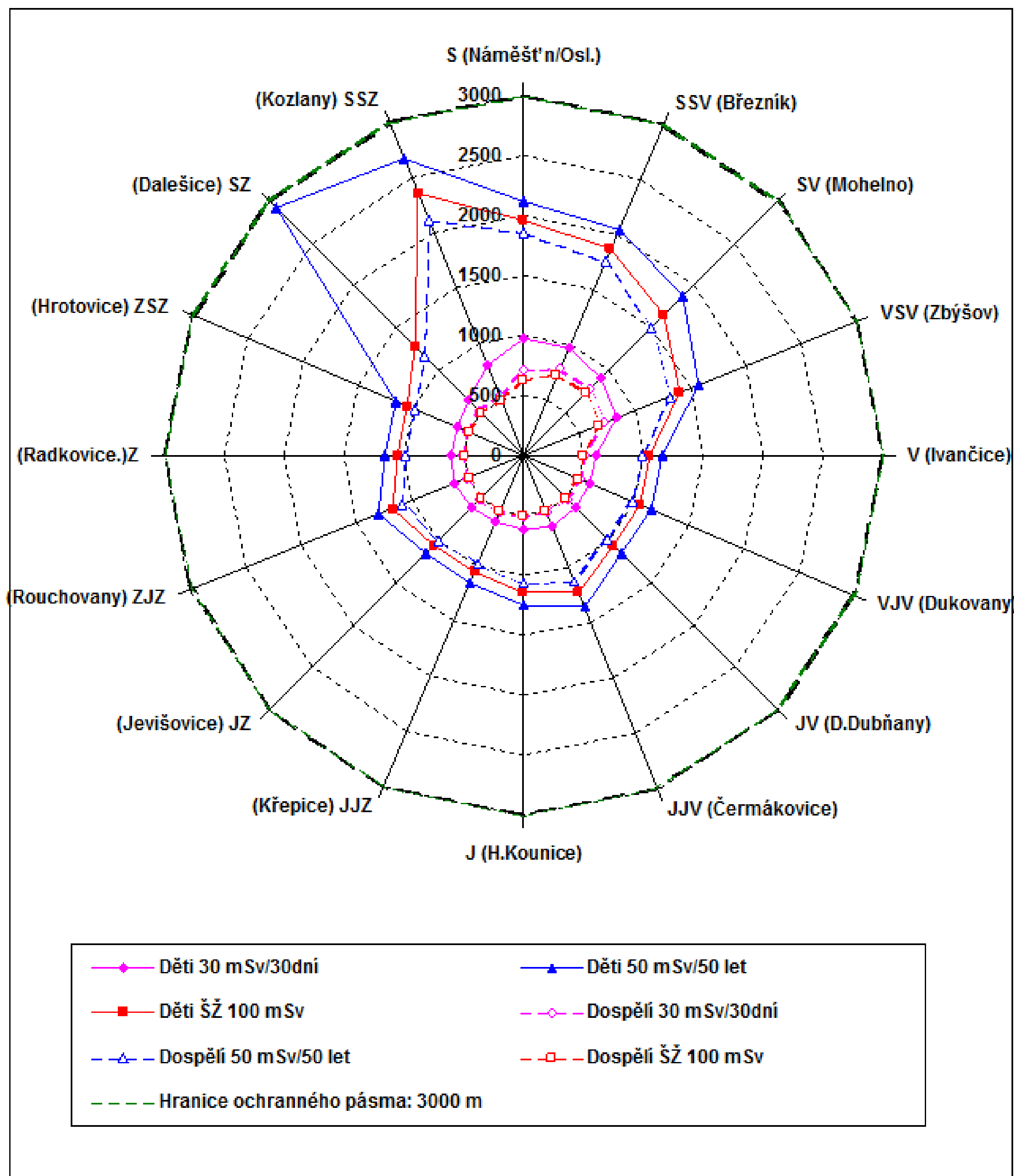
Obr. 15.62: LOCA 2x496 mm na chladné větvi smyčky u reaktoru (maximalizace úniku média do atmosféry): Integrál úniku a doplňování ze systému havarijního chlazení zóny

Plnění kritérií přijatelnosti v jednotlivých směrech kolem EDU znázorňuje obr. 15.63, výsledky analýzy radiologických důsledků lze shrnout do následující tabulky:

Požadavek	Extrémní dosažená hodnota
10 mSv/2dny (ED celé tělo) **30 mSv/měsíc** (ED celé tělo) **50 mSv/50 let** (ED celé tělo) **100 mSv** (úvazek ekv. dávky štít. žlázu)	**< 10 mSv/2dny** do 0,5 km **< 30 mSv/měsíc** do 0,98 km **< 50 mSv/50 let** do 2,91 km **< 100 mSv** do 2,35 km

Pro uvedený scénář události (varianta E) lze splnit základní bezpečnostní limit (ZBL) **5 mSv/5let** (efektivní dávka na celé tělo) na hranici ochranného pásma při dehermetizaci **< 1,43 %** palivových proutků z jejich celkového počtu v aktivní zóně.

Celkově lze konstatovat, že sledovaná kritéria přijatelnosti byla pro analyzovanou událost havarijních podmínek splněna.



Obr. 15.63: LOCA 2x496 mm na chladné větvi u reaktoru (maximalizace úniku média do atmosféry): Znázornění vzdálenosti od zdroje, kde se při nejméně příznivé povětrnostní kategorii F dosahují limitní hodnoty efektivních dávek a úvazku na štítnou žlázu (ŠŽ) dle kritéria přijatelnosti pro děti a dospělé

Nezávislá analýza:

Dokumentace dodavatele paliva obsahuje pro nominální výkonovou hladinu 1485 MW výsledky analýz 3 variant roztržení hlavního cirkulačního potrubí:

- průměr 500 mm (varianta A),
- průměr 130 mm (varianta B),
- průměr 50 mm (varianta C).

Výsledky termohydraulických analýz slouží jako výchozí údaje pro termomechanické analýzy palivových proutků, jejichž výsledky (spolu s výsledky pro vystřelení regulační kazety) slouží jako klíčové zdůvodnění pro splnění kritérií palivových proutků v havarijních podmínkách.

V porovnání s výsledky domácích organizací komentovaných výše lze konstatovat, že z hlediska tlaků v I.O a II.O a teploty paliva jsou výsledky shodné. U teploty pokrytí jsou dodavatelem paliva dosahována maxima nižší, stejně tak u charakteristik oxidace pokrytí a produkce vodíku. Dehermetizace palivových proutků není pro žádnou variantu předpovídána. Všechna sledovaná kritéria přijatelnosti byla splněna.

15.8 Úniky radioaktivních látek ze subsystémů nebo komponent

15.8.1 Netěsnosti nebo poruchy v systému radioaktivních plynných odpadů

Radioaktivní plyny vznikají za provozu JE v aktivní zóně jaderného reaktoru, a to buď přímo v palivu (štěpné produkty) nebo v chladivu (aktivací příměsí nebo korozních produktů). Hromadí se uvnitř primárního okruhu, kde je udržována jejich rovnovážná koncentrace odplyňováním, kontinuální filtrací chladiva, odpouštěním chladiva na čisticí stanici a jeho zpětným doplňováním do primárního okruhu. Radioaktivní plyny jsou za normálního provozu odváděny z primárního okruhu přes systém spalování vodíku do ***systému čištění technologického odvzdušnění*** a následně ventilačním komínem uvolňovány jako plynná výpusť do životního prostředí.

Systém čištění technologického odvzdušnění slouží k čištění radioaktivních plynů odváděných ze systémů spalování vodíku a dále k periodickému provětrávání (odsávání) nádrží nečistého kondenzátu, kde se radioaktivní plyny s obsahem vodíku uvolňují nad hladinou média. Čisticí stanice je společná pro 1. a 2. blok a skládá se ze tří rovnocenných a vzájemně zastupitelných linek a jednoho společného jodového filtru. Pracovní část každé linie se skládá z chladiče pro ochlazení vstupujících plynů, odlučovače vlhkosti a samočisticího filtru. Dále ze dvou rovnocenných zeolitových filtrů a adsorbéru. Adsorbér každé linie se skládá ze čtyř do série zapojených nádob, přičemž každá nádoba je sestavena ze tří částí. Náplň adsorbéru tvoří aktivní uhlí. Každá linka systému čištění technologického odvzdušnění má svou regenerační trasu opatřenou dvěma prachovými filtry, dvěma elektroohříváky, chladičem a odlučovačem vlhkosti. Regenerační i provozní části linky slouží dvě objemová dmychadla a hydrouzávěr.

Část radioaktivních plynných odpadů postupuje s odpadními vodami do budovy aktivních pomocných provozů, kde jsou čištěny v systému technologického odvzdušnění nádrží. Systém je možno rozdělit na dva provozně nezávislé systémy. Jedná se o systém čištění technologického odvzdušnění nádrží a systém čištění vzdušiny z monžíků při tvorbě provozního vakua.

Systém čištění technologického odvzdušnění nádrží umístěný v budově aktivních pomocných provozů zabezpečuje:

- kontinuální provětrávání nádrží skladu kapalných radioaktivních odpadů, nádrží odpadních vod a dalších nádrží na budova aktivních pomocných provozů a na hlavním výrobním bloku,

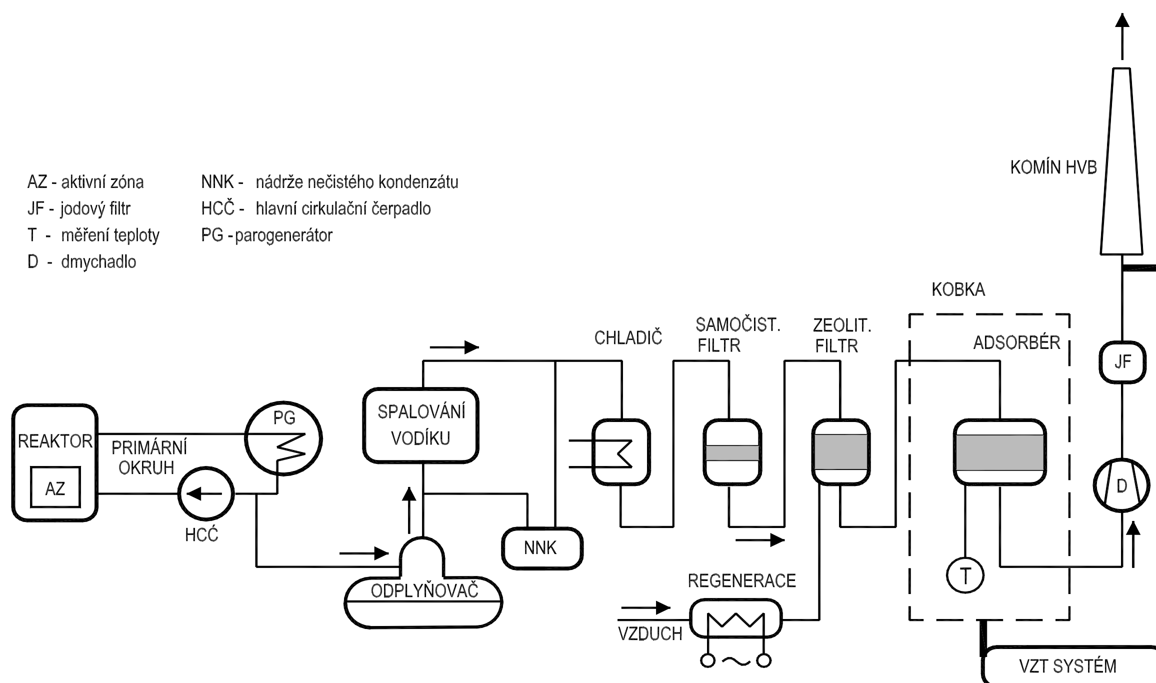
- odsávání a čištění vzdušiny a plynů, po odplynění kondenzátu brýdové páry, které jsou odváděné z deflegmátorů v průběhu zpracování odpadních vod nebo zahušťování roztoku H_3BO_3,
- čištění odsávané paroplynné směsi od radioaktivních aerosolů jódu, kysličníků dusíku a případných těkavých organických nečistot z technologického odvzdušnění nádrží,
- dopravu vyčištěné vzdušiny do ventilačního komína hlavního výrobního bloku.

Systém čištění vzdušiny z monžíků je určen k:

- vytvoření provozního vakua v monžících při přečerpávání kapalných RaO,
- čištění vzduchu odsávaného z monžíků při tvorbě provozního vakua od kapalných i tuhých radioaktivních aerosolů a vlhkosti obsažených v odsávané vzdušině,
- dopravě vyčištěné vzdušiny do ventilačního komína hlavního výrobního bloku.

Kapalná média, která jsou zdrojem plynných radioaktivních odpadů zpracovávaných v budově aktivních pomocných provozů, obsahují oproti chladivu I.O o několik řádů nižší koncentrace radioaktivních plynů (vstupním médiem jsou odpadní vody obsahující neorganizované úniky odplyněného chladiva I.O).

Z výše uvedeného důvodu jsou případné nehody v systémech čištění technologického odvzdušnění nádrží v budově aktivních pomocných provozů z hlediska vlivu na okolí méně významné než nehody v systému čištění technologického odvzdušnění v hlavním výrobním bloku. Nejvýznamnějším zařízením z hlediska záchytu a kumulace aktivity je v systému čištění technologického odvzdušnění adsorbér (zvaný též opožďovací linka). Principiální schéma potenciální nehody ukazuje obr. 15.64.



Obr.15.64: Principiální schéma nehody s porušením systému čištění technologického odvzdušnění

<u>Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti</u>

Z provedených výpočtů vyplývá, že v případě nehody s porušením systému čištění technologického odvzdušnění je nejhorší kategorií počasí z hlediska radiačních důsledků kategorie D se srážkami 10 mm/h a i při této kategorii je splněn základní bezpečnostní cíl pro havarijní podmínky s řídkou četností výskytu ještě před dosažením hranice ochranného pásma - efektivní dávka je menší než 1 mSv za rok. Ekvivalentní dávka na kůži je ve všech kategoriích počasí pod hodnotou základního bezpečnostního cíle 50 mSv/rok.

Vzhledem k tomu, že směs unikajících radionuklidů je složena převážně z krátkodobých nuklidů, jsou dávky za 5 a 50 let způsobené touto nehodou stejné jako roční dávky. Výpočty tedy prokázaly, že je splněn i základní bezpečnostní limit - efektivní dávka je menší než **5 mSv/5 let** a dokonce je splněno i kritérium přijatelnosti pro abnormální provoz - efektivní dávka je menší než **12,5 mSv/50 let**.

15.8.2 Netěsnosti nebo poruchy integrity v systému radioaktivních kapalných odpadů

Za hlavní zdroje kapalných radioaktivních odpadů v EDU lze považovat:

- regenerační roztoky a proplachy čisticích stanic,
- neorganizované úniky a nátoky do speciální kanalizace,
- dekontaminační roztoky,
- prádelenské odpadní a vody z hygienických smyček, pokud nevyhovují z radiačního hlediska pro vypouštění do splaškové kanalizace
- alkalizační činidla pro stabilizaci radioaktivního koncentrátu.

Pro hodnocení netěsností nebo poruch v systému radioaktivních kapalných odpadů bylo vybráno několik scénářů, které jsou stručně popsány v následujícím textu. Pokud jde o možnost jejich výskytu, představují tyto scénáře situace, ke kterým by mohlo dojít za určitých předpokladů, v podstatě však pouze tehdy, došlo-li by k selhání systémů a opatření podrobněji popsaných v dílech 11 a 12.

Při sestavování scénářů možných netěsností nebo poruch byla hned zpočátku vzata v úvahu některá hlediska. Vycházelo se z předpokladu, že největší riziko budou představovat případy, při nichž dojde ke kontaminaci velkým množstvím uniknuvší kapaliny, a která tedy unikne z nádrže o největším objemu. Současně vysoké riziko se bude vyskytovat tam, kde uniknuvší kapalina bude obsahovat vysoké koncentrace radioaktivních látek a posléze i tam, kde systém bariér bude méně dokonalý nebo více náchylný poruše.

Zmíněnými scénáři jsou:

- porušení nádrže s koncentrátem ve skladu kapalných radioaktivních odpadů,
- porušení nádrže s ionexy,
- porušení manipulační nádrže s kapalným koncentrátem,
- porušení potrubí přečerpávajícího koncentrát,
- porušení nadzemního potrubí spojujícího budovy aktivních pomocných provozů 1 a 2,
- únik tritiových vod v důsledku chybné manipulace obsluhy,
- vznícení sudu s bitumenovým produktem.

Z uvedených sedmi případů se v pěti z nich uvažuje jako iniciační událost seismická aktivita, ke které by s určitou pravděpodobností během životnosti jaderného zařízení mohlo dojít.

Při nakládání s radioaktivními odpady se používají nádrže skladovací, havarijní, rezervní, přečerpávací, a sedimentační, z nichž nejvyšší pracovní objem 550 m3 má skladovací nádrž aktivního koncentrátu. Předpokládá se, že při její poruše se do okolního prostředí dostane její veškerý obsah.

Nádrže jsou umístněny v oblícovaných kobkách, aby bylo zabráněno úniku aktivity do okolního prostředí - případně uniknuvší kapalinu lze vracet do rezervních (havarijních) nádrží. Toto jištění nemají manipulační nádrž s koncentrátem o objemu 10 m^3 a potrubí o průměru 57 mm přečerpávající koncentrát.

Nejvyšší aktivity jsou ve zkoncentrovaných odpadních vodách zahuštěných na odparce a doodparce nebo zachycených na iontoměničových filtrech.

Možností, která by mohla vést ke kontaminaci okolního prostředí, je i únik kapaliny v důsledku chyby obsluhy při čerpání kapaliny z nádrže obsahující tritiové vody.

K úniku radioaktivních látek může dojít také při vznícení horkého bitumenového produktu.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Z hodnocení mimořádných událostí je zřejmé, že radiační následky popsaných scénářů pro obyvatelstvo jsou vesměs nižší než 1 mSv/rok, u scénáře se vznícením sudu s bitumenovým produktem toto konstatování platí pro vzdálenosti od ohniska požáru 1000 m a více. Ochranné pásmo elektrárny je ve vzdálenosti 3000 m.

Zátěž pracovníků je s výjimkou scénáře se vznícením sudu s bitumenovým produktem rovněž nižší než 1 mSv – při skutečném průběhu požáru by bylo možné ji optimalizovat např. použitím roušky a vhodným dělením prací při likvidaci následků.

Sledovaná kritéria přijatelnosti pro tuto kategorii nehod jsou tak splněna, při průběhu mimořádných událostí není třeba přijímat žádná opatření pro obyvatelstvo.

15.8.3 Postulované úniky radioaktivních látek v důsledku porušení nádrží kapalných médií

Porušení nádrže 550 m^3 s koncentrátem ve skladu kapalných RAO

I když v EDU existuje velký počet zařízení, ve kterých se nachází nakumulovaná aktivita v kapalném médiu, jsou z hlediska potenciálního rizika rozhodující skladovací nádrže radioaktivního koncentrátu a sorbentů. V těchto nádržích se za provozu bude v podstatě nacházet více než 90 % veškeré aktivity přítomné v EDU v kapalném médiu.

Jako případ nehody způsobené ztrátou integrity nádrže obsahující kapalné radioaktivní médium byla vybrána událost doprovázená ztrátou integrity skladovací nádrže obsahující radioaktivní koncentrát, nacházející se v budově aktivních pomocných provozů, a další únik z místnosti skladovacích nádrží kapalných radioaktivních odpadů následkem poškození jejich oblícování nerezovou ocelí do výšky maximálně možného zalití skladovaným radioaktivním médiem. Příčinou tak rozsáhlého porušení nádrží by mohla být seizmická událost doprovázená poškozením stavebního objektu tak, aby došlo k průniku radioaktivních látek mimo technologické i stavební bariéry.

Po výskytu iniciační události, jejímž důsledkem je ztráta integrity výše uvedených inženýrských bariér, dochází k úniku kapalných radioaktivních látek z nádrží koncentrátu do okolního prostředí. První varianta, uvažující rozlití celého objemu nádrže nebo jeho většího množství po povrchu terénu a následný transport do řeky Jihlavy, je silně konzervativní, protože původní umístění nádrží je pod povrchem terénu.

Pravděpodobnější je varianta úniku celkového obsahu nádrže do půdy, přičemž kontaminant se dostane následnou migrací půdním podložím do prameniště vzdáleného 0.5 km.

Porušení bariér při postulované nehodě je natolik značné a jím způsobený únik do té míry intenzivní, že veškerý inventář aktivity obsažený v unikajícím médiu v rozpustné a jemně dispergované (nesedimentující) formě pronikne až do nádrže Mohelno za dobu kratší než 100 hodin. Ze znalosti provozu soustavy nádrží Dalešice –Mohelno lze odvodit 2 krajní případy uvažovaného scénáře.

Varianta první - únik povrchovými vodami do Jihlavy

V tomto případě (první varianta) se nepočítá s ředěním uniklého koncentrátu v nádrži Mohelno. Jako druhý mezní případ se uvažuje, že uniklý koncentrát bude naředěn v nádrži Mohelno.

Pro zhodnocení vlivu úniku veškerého inventáře radionuklidů z nádrží radioaktivního koncentrátu do Jihlavy v profilu Mohelno byly použity dvě cesty příjmu obyvatelem:

- jednotlivec z obyvatelstva uspokojuje veškeré své potřeby konzumace tekutin ve formě vody, kterou odebírá z řeky Jihlavy,

- jednotlivec z obyvatelstva chytá v řece Jihlava ryby, v jejichž mase byly zkoncentrovány radionuklidy v důsledku pobytu ryb v kontaminované vodě,
- jednotlivec z obyvatelstva zavlažuje pěstovanou zeleninu vodou z řeky Jihlavy, v zelenině se následně koncentrují radionuklidy v důsledku zavlažování kontaminovanou vodou,.
- jednotlivec konzumuje mléko produkované dojnicí, která byla napájena kontaminovanou vodou z řeky,
- jednotlivec konzumuje maso ze zvířat, která byla napájena kontaminovanou vodou z řeky.

Varianta druhá - únik podzemními vodami do hypotetické studně

Porušení nádrží nebo transportního potrubí následkem nehody a jím způsobený únik je do té míry intenzivní, že veškerý inventář aktivity obsažený v unikajícím médiu v rozpustné a jemně dispergované (nesedimentující) formě pronikne až do vodonosných horizontů. Varianta druhá předpokládá průnik radionuklidů do prameniště a jeho následné využití jako zdroje pitné vody.

Zátěž z ingesce pro obyvatele byla uvažována ze čtyř možných cest, kdy obyvatel:

- konzumuje vodu ze studně jako z jediného zdroje,
- konzumuje maso ze zvířat, která byla celý rok napájena vodou ze studně,
- konzumuje mléko produkované dojnicí, která byla celý rok napájena vodou ze studně,
- celé vegetační období zalévá zeleninu pěstovanou ve své zahrádce vodou ze studně a produkty sám konzumuje.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Varianta první: I kdyby se předpokládal jedinec, který konzumuje ryby a vodu původem výhradně z řeky Jihlavy, kterou používá k zavlažování pěstované zeleniny a pro živočišnou výrobu, obdrží roční efektivní dávku menší než **0,6 mSv**.

Varianta druhá: Předpokládaný jedinec z obyvatelstva, který bude vystaven účinkům všech čtyř výše zvažovaných cest ingesce, obdrží roční efektivní dávku menší než **0,06 mSv**.

U obou variant jsou výpočtové efektivní dávky hluboko pod směrnými hodnotami zásahových úrovní pro neodkladná i následná ochranná opatření stanovených Vyhláškou o radiační ochraně (č. 307/2002 Sb). Tato hodnota je také menší než obecný limit pro obyvatelstvo **1 mSv/rok**.

Únik tritiových vod z kontrolní nádrže

Vypuštění do kanalizace - varianta 1

Možnou příčinou může být chyba obsluhy, spočívající ve vypuštění kontrolní nádrže do venkovní kanalizace, i když její aktivita byla vyšší než povolený limit pro vypuštění. Vlivem překročení množství radioaktivních látek vypouštěných do kanalizace může v konečném důsledku dojít k překročení stanovených limitů pro vypouštění do povrchových vod a ke zvýšení radiační zátěže obyvatelstva v místech, kde se tato voda používá k pitným účelům nebo k zavlažování.

Pro zhodnocení vlivu úniku veškerého inventáře radionuklidů z kontrolní nádrže do řeky Jihlavy v profilu Mohelno byly použity identické cesty příjmu obyvatelem jako výše v případě porušení nádrže 550 m^3 a stejným způsobem byl proveden i výpočet.

Únik tritiových vod podzemními vodami do hypotetické studně – varianta 2

Tato část posuzovaného scénáře byla uvažována pouze teoreticky, jednak pro svoji velmi nízkou pravděpodobnost výskytu, jednak pro velmi nízký výsledný efekt pokud jde o dávku jednotlivci z kritické skupiny obyvatel, kteří by konzumovali pitnou vodu z pramene nebo studně, ležící ve vzdálenosti 500 m od lokality. Počítalo se předběžně, že obyvatel by konzumoval vodu ze studně jako z jediného zdroje a současně by konzumoval maso, ze zvířat, která byla celý rok napájena vodou ze studně, jakož i

mléko produkované dojnicí, která byla celý rok napájena vodou ze studně. Předpokládalo se rovněž, že by zaléval po celé vegetační období zeleninu pěstovanou ve své zahrádce vodou ze studně a produkty sám konzumoval.

Výsledky analýzy – splnění kritérií přijatelnosti

Varianta 1: I kdyby se předpokládali jedinec, který konzumuje ryby a vodu původem z řeky Jihlavy, kterou používá k zalévání pěstované zeleniny, obdrží následkem úniku tritia a dalších radionuklidů z kontrolní nádrže roční efektivní dávku menší než **0,0002 mSv**.

Varianta 2: Předpokládaný jedinec z obyvatelstva, který bude vystaven účinkům všech čtyř výše zvažovaných cest ingesce, obdrží roční efektivní dávku menší než **0,0013 mSv**.

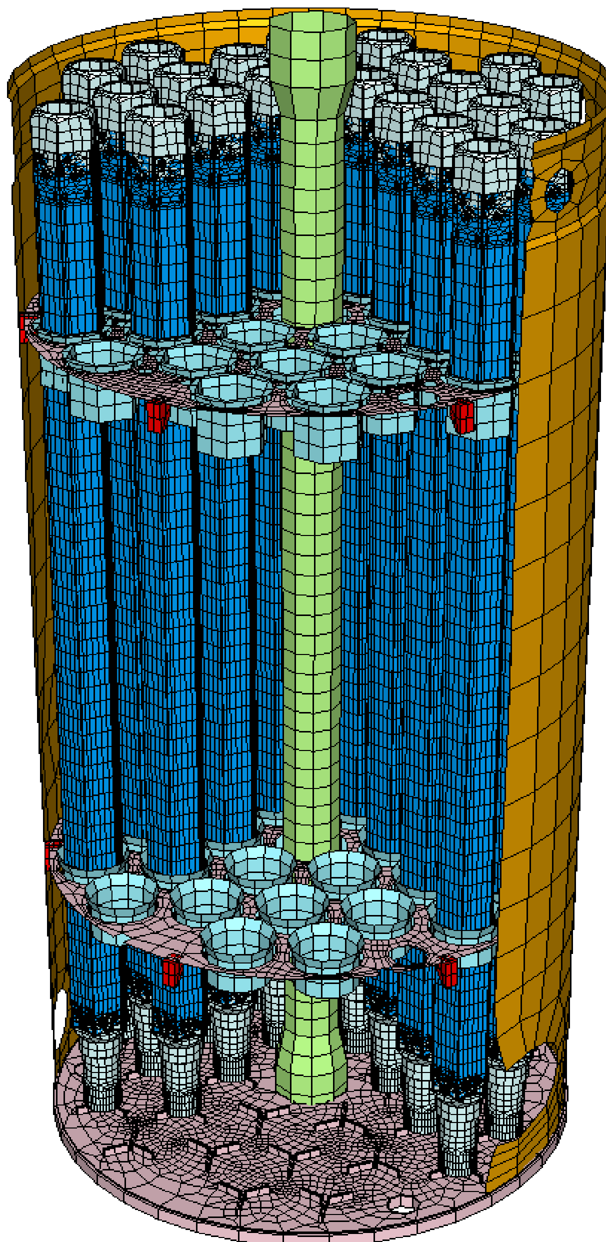
U obou variant jsou výpočtové efektivní dávky hluboko pod směrnými hodnotami zásahových úrovní pro neodkladná i následná ochranná opatření stanovených Vyhláškou o radiační ochraně (č. 307/2002 Sb). Tato hodnota je také menší než obecný limit pro obyvatelstvo 1 mSv/rok.

Z výsledků lze učinit závěr, že postulované úniky radioaktivních látek v důsledku chybné manipulace spočívající ve vypuštění tritiových vod nevyvolají v okolí JE Dukovany odezvu v dávkových úvazcích, které by znamenaly překročení základního obecného limitu podle Vyhlášky o radiační ochraně.

Celkově lze k části 15.7.3 shrnout: Podle klasifikace ANSI (viz úvodní část dílu 15) je tato událost zařazena do Kategorie III. Její důsledky jsou hodnoceny jako přijatelné, pokud nedojde k překročení základního limitu obecného dle Vyhlášky o radiační ochraně, tj. k překročení efektivní dávky 1 mSv/rok. Vypočtené dávky jsou u všech variant hluboko pod hodnotami zásahových úrovní pro neodkladná i následná ochranná opatření. Výpočtem získané hodnoty pro jednotlivé varianty (včetně nejnepříznivější hodnoty 0,6 mSv/rok) tento požadavek splňují a u některých variant jsou dokonce menší než směrná hodnota ozáření (50 mikroSv/rok), která se považuje za dostatečnou k prokázání dosažitelné úrovně radiační ochrany za normálního provozu.

15.8.4 Projektové nehody při zacházení s palivem uvnitř HVB a v budovách skladování vyhořelého paliva

Výpočtové analýzy se týkají možností mechanického poškození zásobníku čerstvého jaderného paliva (ČJP) nebo palivových kazet při pádech během manipulací s palivem, zachování podkritičnosti při pádech zásobníku ČJP a možných radiologických důsledků v případě poškození palivové kazety při manipulacích s palivem. Řez zásobníkem čerstvého jaderného paliva na přepravu třiceti palivových kazet je na obr. 15.65.



Obr. 15.65: Řez zásobníkem čerstvého jaderného paliva

Pád plně zavezeného zásobníku ČJP

Cílem analýzy je simulovat dopad zásobníku palivových kazet typu Gd-2, který padá volným pádem po uvolnění z převážejícího zařízení na nedeformující se, neúhybnou podložku. Na základě těchto výsledků simulace pak posoudit míru jeho mechanického poškození. Tento zásobník čerstvého jaderného paliva (ČJP) je uvažován jako plně naložený, tj. obsahuje třicet

palivových kazet typu Gd-2 (PK). Výstupem tohoto matematického modelu je pak posouzení míry sblížení PK, vlivem nevratných deformací zásobníku, při třech základních pádových konfiguracích:

- pád zásobníku ČJP ve směru jeho osy kolmo na ponořenou dopadovou plochu,
- pád zásobníku ČJP pod úhlem 45 ° na ponořenou dopadovou plochu,
- pád zásobníku ČJP v ležaté poloze na ponořenou dopadovou plochu,
- pád zásobníku ČJP ve směru jeho osy kolmo na dopadovou plochu,
- pád zásobníku ČJP pod úhlem 45 ° na dopadovou plochu.

Pádové konfigurace zásobníku ČJP – shrnutí výsledků

Na základě numerických simulací lze konstatovat, že k výraznému sblížení PK v zásobníku ČJP nedochází ani v jedné z uvažovaných, relevantních konfigurací. Co se týče integrity PK uložené v zásobníku ČJP, je zde výpočtem doloženo, že k jejímu narušení v důsledku pádu zásobníku nedojde. Dále je numerickou simulací prokázáno, že nedojde ani k porušení hermetičnosti palivových proutků. Tyto numerické simulace byly provedeny pro konfiguraci, kdy zásobník ČJP padá ve svislé poloze na nedeformující se, neúhybnou podložku. Tato konfigurace byla shledána jako nejvíce nepříznivá. Na základě těchto úvah lze očekávat, že ani v konfiguraci, kdy zásobník ČJP dopadá vychýlen pod úhlem 45°, nedojde k porušení integrity PK a ani palivových proutků. Nicméně při této pádové konfiguraci dochází ke sblížení PK v oblasti jejich koncovek.

Pád palivové kazety na palivovou kazetu

Pád PK do bazénu výměny: pád PK na PK,
pád PK na spodní mříž.
Pád PK do bazénu skladování vyhořelého jaderného paliva:
pád PK na PK umístěnou ve skladovací mříži,
pád PK na kompaktní skladovací mříž,
pád PK na PK v rezervní skladovací mříži.

Pádové konfigurace PK – shrnutí výsledků

Tyto pádové konfigurace vyplývají z nutnosti manipulace s PK. Numerické simulace řešily míru poškození PK při jejím pádu na jinou PK anebo na příslušnou mříž. Výsledky provedených výpočtů dokládají, že k porušení integrity palivových proutků nedojde ani v jedné z uvažovaných pádových konfigurací. Jelikož při této rychlosti nedojde ke ztrátě hermetičnosti palivových proutků a ani k dezintegraci PK jako celku, lze usuzovat, že při nižších dopadových rychlostech tomuto namáhání PK také odolá.

Podkritičnost při pádu zásobníku ČJP – shrnutí výsledků

Analýzy prokázaly splnění požadované podkritičnosti i pro nejméně příznivý případ šikmého dopadu zásobníku s čerstvým palivem do bazénu reaktoru s vodou bez kyseliny borité. Byly provedeny také analýzy různých variant při pádu zásobníku do vody s koncentrací kyseliny borité 12 g/kg, kdy bylo dosahováno hluboké podkritičnosti. V případech, kdy se nejedná o pád zásobníku do vody, je událost z hlediska podkritičnosti zcela bezproblémová. Souhrnně lze konstatovat, že podkritičnost při pádu zásobníku ČJP s 30 PK s palivem typu Gd-2M je v prostorách EDU v rámci předpokládaných projektových nehod zajištěna.

Radiologické důsledky poškození vyhořelé palivové kazety při manipulacích s palivem

Výsledky pro analyzovanou nehodu při manipulaci s palivem (dehermetizace 126 palivových proutků) ukazují, že efektivní dávka za **5 roků** nepřekračuje hodnotu **5 mSv** uvnitř ochranného pásma EDU (ve vzdálenosti 1,81 km od zdroje) a splňuje tedy základní bezpečnostní limit (ZBL) pro havarijní podmínky s řídkou četností výskytu. Nejnepříznivější pro tuto nehodu je stabilní povětrnostní kategorie F.

Výpočtem bylo též prověřeno splnění obecných limitů čerpáním efektivní dávky a ekvivalentních dávek na kůži (**50 mSv/rok**) a oční čočku (**15 mSv/rok**) pro tuto nehodu. Požadované limity jsou splněny vně ochranného pásma (oba tyto limity jsou fakticky splněny uvnitř ochranného pásma ve vzdálenosti 0,5km od zdroje).

Obdržené výsledky potvrdily, že postulovaná havarijní situace pádu palivové kazety do bazénu vyhořelého paliva s dehermetizací všech jejích palivových proutků (126) splňuje ZBL

5mSv/5 let, při omezeném rozsahu počtu dehermetizovaných palivových proutků může být splněn dokonce i ZBC ¨pro události abnormálního provozu (**250 mikroSv/rok**).

Souhrnně lze tedy konstatovat, že analyzovaná událost za výše popsaných předpokladů splňuje s dostatečnou rezervou stanovená kritéria přijatelnosti pro hodnocení jejích radiologických důsledků.

15.8.5 Nehody spojené s pádem kontejnerů s vyhořelým palivem

Ověřovacími výpočty a porovnáním s provedenými experimenty bylo zjištěno, že při pádu kontejneru z 9 m na tuhou podložku, při pádu z 1m na trn a při pádu z 18 m na tlumící vagón nedochází ke ztrátě integrity kontejneru včetně jeho vnitřních částí. Tyto výsledky zaručují, že při posuzovaných pádech nedojde k úniku radioaktivních látek do okolí.

Posuzované pády představují obalovou množinu pádů, ke kterým by mohlo dojít při manipulaci s kontejnery v hlavním výrobním bloku z hlediska rizika jejich možného poškození a ztráty integrity.

Při reálných procesech manipulace s kontejnery by případné skutečné pády probíhaly za méně konzervativních podmínek. Technickými a organizačními opatřeními je pravděpodobnost pádu kontejneru během přepravy minimalizovaná.

15.9 Očekávané přechodové procesy bez havarijního odstavení reaktoru

Iniciačními událostmi pro ATWS jsou události abnormálního provozu kombinované se selháním funkce rychlého odstavení reaktoru. Typickým předpokladem pro ATWS je selhání signálu pro rychlé odstavení reaktoru nebo mechanická příčina bránící pohybu regulačních orgánů. Charakteristické události pro analýzy se vybírají ze skupiny iniciačních událostí s větší pravděpodobností výskytu (kromě pravděpodobnosti rychlého odstavení reaktoru), v tomto případě to jsou události:

1. Neúmyslné vysouvání skupiny regulačních orgánů
2. Ztráta napájení parogenerátorů vodou
3. Ztráta pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení
4. Ztráta elektrického zatížení
5. Ztráta vakua v kondenzátoru
6. Výpadek turbín
7. Neřízené uzavření armatur hlavních parovodů
8. Neřízené otevření PSK

Tyto události patří při fungování systému pro rychlé odstavení reaktoru k abnormálnímu provozu, při uvažovaném selhání tohoto systému jsou hodnoceny jako události havarijních podmínek. ATWS události nepatří pro EDU k projektovým nehodám, proto nejsou vyžadovány jejich licenční analýzy na bázi konzervativních předpokladů. Analýzy ATWS, založené na realistických (best estimate) předpokladech jsou však součástí hodnocení ochrany do hloubky a jako takové jsou i zde prezentovány.

<u>Principy ATWS</u>

Jako hlavní bezpečnostní aspekty událostí doprovázených selháním rychlého odstavení reaktoru lze uvést:

- Nárůst teploty chladiva v primárním okruhu jako důsledek neodpovídajícího přenosu tepla k jeho konečnému spotřebiči.
- Nárůst tlaku chladiva v primárním okruhu jako důsledek jeho expanze.
- Potenciální nárůst hladiny vody v KO až po hrdla ventilů s následným přepouštěním kapaliny do barbotážní nádrže.
- Nárůst teploty pokrytí palivových proutků jako důsledku potenciálního výskytu krizových podmínek přestupu tepla.

V obecném znění jsou kritéria přijatelnosti pro události ATWS analogická jako pro události postulovaných projektových nehod, tj. mají kontrolovat zachování integrity primárního okruhu,

chladitelnost paliva, reaktivitu pro odstavení reaktoru a případně radiologické důsledky vně jaderné elektrárny. Přitom lze použít méně omezující podmínky, jako jsou například podmínky pro zachování integrity primárního a sekundárního okruhu.

U uvažovaného spektra událostí ATWS není kritérium nedosažení teploty tavení paliva aktuální kromě případů, kdy dochází k růstu výkonu nad počáteční nominální hodnotu.

Pro události ATWS nejsou blíže specifikována kritéria pro hodnocení radiologických důsledků. Avšak při akceptovatelnosti ATWS jako havarijních podmínek s velmi malou pravděpodobností výskytu lze aplikovat kritérium nepřekročení dávek ve verzi pro havarijní podmínky, jejichž výskyt se za dobu provozu JE neočekává, a tudíž pro hodnocení důsledků ATWS je možné využít odpovídajících obalových výsledků pro jiné konkrétně analyzované události. U všech událostí kromě nekontrolovaného vysouvání skupiny HRK je splněno kritérium nedosažení krize varu, tudíž se neočekává porušení palivových proutků v důsledku této události. Pak není ani důvod očekávat významnější radiologické dopady pro okolí.

V případě nekontrolovaného vysouvání skupiny HRK není v nejnepříznivějším případě kritérium nedosažení krize varu splněno, lze proto očekávat porušení pokrytí malého množství palivových proutků na základě potenciálního dosažení krizových podmínek přestupu tepla. Není však důvod očekávat nepříznivější radiologické důsledky než v případě vystřelení HRK, kdy je splněn ZBL 5 mSv/5 let pro efektivní dávku na celé tělo. Z těchto důvodů nebyly samostatné analýzy pro ověřování radiologických kritérií prováděny.

Všechny analýzy ATWS událostí jsou zde provedeny bez uvažování činnosti obsluhy po dobu 30 minut. Splněním zbývajících sledovaných kritérií přijatelnosti za těchto podmínek je tak ověřeno i kritérium pro dostatečnost doby pro zásah obsluhy. Po uplynutí doby 30 minut bez porušení kritérií přijatelnosti lze oprávněně považovat za splněné (splnitelné) i kritérium na dostatečnou dobu pro zásah obsluhy, což může obsluha zajistit dodávkou bóru, pokud k ní nedošlo už během analyzované události.

Souhrnně tak z uvedeného plyne, že pro kontrolu analyzovaných událostí jsou klíčová kritéria nedosažení krize varu, nepřekročení maxim tlaků v I.O a II.O, v případě nekontrolovaného vysouvání skupiny HRK ještě kritéria nepřekročení radiálně středované entalpie v palivové tabletce a nepřekročení teploty pokrytí.

Počáteční a okrajové podmínky

Vzhledem k malé pravděpodobnosti vzniku iniciační události a současného selhání rychlého odstavení reaktoru, je možno pro analýzu použít počáteční a okrajové podmínky na základě best estimate přístupu, tzn. s použitím realistických předpokladů, bez zahrnutí neurčitostí. Speciálně se to týká koeficientů reaktivity (Doppler), účinnosti regulačních orgánů účastnících se procesu, apod. Avšak v rámci toho se uvažuje rozumně konzervativní stav, například nejhlubší přípustné zasunutí regulačních orgánů, největší přípustné nerovnoměrnosti v rozložení výkonu, teplota paliva, apod.

Funkčnost systémů a činnost obsluhy

Funkčnost systémů má být uvažována realisticky. Má se uvažovat odpovídající činnost všech řídicích a bezpečnostních systémů, které mají vliv na proces. Žádné poruchy, umělá zpoždění aktivace signálů, konzervativní odklonění hodnot nastavení ochranných systémů by neměla být v analýzách uvažována. Systémy a zařízení nepatřící k bezpečnostním se mají uvažovat v analýzách v případě, že jsou navrženy pro činnost v havarijních podmínkách. To pokrývá obzvláště všechna řídicí zařízení i v případě, že budou zlepšovat situaci.

Na druhé straně se doporučuje konzistentně neuvažovat ty řídicí a limitační systémy, které jsou svázané s regulačními orgány, u kterých se předpokládá selhání pro rychlé odstavení, přičemž stejná příčina (např. mechanická nezpůsobilost) by byla aktuální i v případě řídicího zásahu.

Dalšími použitelnými (a využívanými) předpoklady jsou:

- Neuvažování jednoduché poruchy ani současné opravy a údržby.
- Neuvažování ZPRZEN, pokud nevzniká přímým důsledkem iniciační události nebo není přímo iniciační událostí.

- Použití přístupu, který povede ke konzervativním výsledkům v případě události, ovlivněné jevem, který nelze patřičně modelovat, např. z důvodu nedostatku experimentálních údajů.

Zásahy obsluhy mohou být uvažovány nejdříve za 10 minut od vzniku události, pokud tento zásah může být uskutečněn z blokové dozorny, pokud zásah odpovídá příslušnému provoznímu předpisu a obsluha byla v jeho použití náležitě trénována. To současně předpokládá, že existuje spolehlivá indikace příčiny v rámci ATWS událostí. Pokud nejsou tyto podmínky splněny, měla by být příslušná rezerva pro zásah obsluhy stanovena konzervativně.

V uvažovaných analýzách se konzervativně předpokládá zásah obsluhy po 30 minutách od počátku procesu. To v tomto případě znamená, že událost probíhá bez působení obsluhy po dobu 30 minut, i když existují příznaky, podle kterých by k zásahu obsluhy mělo dojít. Podle odpovídajících havarijních předpisů by operátor zajistil bórování pomocí vysokotlakého systému (eventuálně systému doplňování a bórové regulace). Účinek bórování by se sčítal s vlivem zpětných vazeb, a tím by bylo zajištěno rychlé odstavení.

Shrnutí výsledků analýz spektra událostí ATWS

Skupina událostí ATWS je zde vyhodnocena jako celek z hlediska plnění jednotlivých kritérií přijatelnosti.

Nedosažení krize varu, **minimum DNBR > 1,125**: Kritérium není splněno u události „neúmyslné vysouvání skupiny regulačních orgánů“, u všech dalších analyzovaných událostí ATWS splněno je, přičemž nejmenší hodnota **1,153** byla dosažena u události „ztráta napájení parogenerátorů vodou“.

Nepřekročení **maxima tlaku v I.O 18,6 MPa (ATWS)**. Kritérium je splněno u všech analyzovaných událostí ATWS, přičemž nejvyšší hodnoty **14,86 MPa** je dosaženo u události „ztráta pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení“ a „výpadek turbín“.

Nepřekročení **maxima tlaku v II.O 7,5 MPa (ATWS)**. Kritérium je splněno u všech analyzovaných událostí ATWS, přičemž nejvyšší hodnoty **5,98 MPa** je dosaženo u události „ztráta vakua v kondenzátoru“.

Nepřekročení **maximální teploty paliva 2480°C**. Kritérium je splněno u všech analyzovaných událostí ATWS, přičemž nejvyšší hodnoty **2425°C** je dosaženu u události „neúmyslné vysouvání skupiny regulačních orgánů“.

Nepřekročení **maximální teploty pokrytí 1200 °C**. Kritérium je splněno u všech analyzovaných událostí ATWS, přičemž nejvyšší hodnoty **880°C** bylo dosaženo u události „neúmyslné vysouvání skupiny regulačních orgánů“.

Nepřekročení **radiálně středované entalpie paliva 840 J/g.** Kritérium je splněno u všech analyzovaných událostí ATWS, přičemž nejvyšší hodnoty **732 J/g** je dosaženo u události „neúmyslné vysouvání skupiny regulačních orgánů“.

Nepřekročení **celkové lokální oxidace pokrytí 17 %** počáteční tloušťky. Kromě události „neúmyslné vysouvání skupiny regulačních orgánů“ s dosaženou hodnotou **0,33 %** k parozirkoniové reakci u zbývajících událostí nedochází.

Dodavatelem paliva byly provedeny ***nezávislé analýzy*** pro nominální výkonovou hladinu 1485 MW pro události:

- neúmyslné vysouvání skupiny regulačních orgánů,
- ztráta pracovních a rezervních zdrojů elektrického napájení,
- neřízené uzavření armatur hlavních parovodů.

Z těchto analýz nevyplynulo nesplnění kritéria nedosažení krize varu u žádné události, dosahované extrémy byly příznivější než výše uvedené dle analýz domácích organizací. kromě maxima tlaku v II.O, pro které byla dosažena hodnota **6,0 MPa** u události „neřízené uzavření armatur hlavních parovodů“.

Souhrnně lze konstatovat, že pro analyzované události ATWS bylo potvrzeno splnění všech sledovaných kritérií přijatelnosti, určených pro havarijní podmínky.

15.10 SPECIÁLNÍ ANALÝZY

15.10.1 NADPROJEKTOVÉ NEHODY (MIMO TĚŽKÝCH HAVÁRIÍ)

Celý soubor podmínek, pro které je jaderná elektrárna projektována s ohledem na stanovená projektová kritéria, při nichž je porušení paliva a vypouštění radioaktivních látek udrženo v rozsahu schválených limitů, tvoří projektovou základnu elektrárny. V rámci projektové základny se uvažuje množství nechtěných událostí, včetně chyb obsluhy a selhání zařízení, jejichž důsledky nebo potenciální důsledky nejsou z hlediska bezpečnosti zanedbatelné.

Z hlediska pravděpodobnosti výskytu může být každá událost klasifikována jako ***očekávaný provozní výskyt*** (nazývaný také očekávaný přechodový proces nebo abnormální provoz, pravděpodobnost výskytu > 10^{-2} 1/reaktor.rok) nebo ***projektová nehoda*** (pravděpodobnost výskytu 10^{-4} až 10^{-2} 1/reaktor.rok). Nehoda vyskytující se mimo projektovou základnu elektrárny se nazývá ***nadprojektová nehoda*** (rozšířené projektové podmínky), která může, ale nemusí, zahrnovat degradaci (silné poškození) aktivní zóny (pravděpodobnost výskytu < 10^{-4} 1/reaktor.rok). Nadprojektová nehoda, která degradaci aktivní zóny zahrnuje, se také nazývá těžkou havárií, pravděpodobnost výskytu těžké nehody by neměla překročit 10^{-6} 1/reaktor.rok).

Možné příčiny vzniku nadprojektové nehody jsou následující:

- závažnější iniciační událost (IU) než u projektových nehod (např. roztržení primárního kolektoru PG)
- stejná IU jako u projektových nehod v kombinaci s „nadprojektovými okrajovými podmínkami“:
    - selhání ochranných systémů nad rámec jednoduché poruchy (např. roztržení parovodu bez vysokotlakých čerpadel)
    - kombinace iniciační události a předpokladů nedostupnosti ochranných systému kvůli předpokládané údržbě a jednoduché poruše taková, že funkce jediného dostupného systému je neefektivní (např. LOCA bez nízkotlakých nebo bez vysokotlakých čerpadel)
    - chyby operátora
- kombinace více iniciačních událostí (např. velká LOCA a současně prasknutí trubek PG nebo vícenásobné roztržení potrubí systému ostré páry a napájecí vody apod.)

Nadprojektové události nepatří ze své podstaty mezi projektové nehody, proto nejsou vyžadovány jejich licenční analýzy na bázi konzervativních předpokladů (nebo jiného metodického přístupu schváleného pro licenční analýzy projektových nehod). Analýzy nadprojektových nehod, zpracované s uvažováním realistických předpokladů, jsou však součástí hodnocení ochrany do hloubky a jako takové jsou i zde prezentovány. Při analýze těchto událostí se vychází z bezpečnostního návodu VÝBĚR A HODNOCENÍ PROJEKTOVÝCH A NADPROJEKTOVÝCH UDÁLOSTÍ A RIZIK PRO JADERNÉ ELEKTRÁRNY, bezpečnostní návod JB-1.7, SÚJB, prosinec 2010.

Stejně jako pro ATWS lze pro vyhodnocování nadprojektových nehod použít kritéria přijatelnosti analogická jako pro události postulovaných projektových nehod, tj. která mají kontrolovat zachování integrity primárního okruhu, chladitelnost paliva, reaktivitu pro odstavení reaktoru a případně radiologické důsledky vně jaderné elektrárny. Přitom lze použít méně omezující podmínky, jako jsou například podmínky pro zachování integrity primárního a sekundárního okruhu.

<u>Počáteční a okrajové podmínky</u>

Vzhledem k malé pravděpodobnosti vzniku analyzovaných iniciačních událostí a příp. současného selhání dalších systémů, je možno pro analýzu nadprojektových nehod použít realistického přístupu. Avšak v rámci tohoto obecně realistického přístupu se mají uvažovat nejméně příznivé počáteční podmínky, například okamžik v provozu vsázky, počáteční zasunutí regulačních orgánů, největší přípustné nerovnoměrnosti v rozložení výkonu, apod.

<u>Funkčnost systémů a činnost obsluhy</u>

Funkčnost systémů má být uvažována realisticky. Žádné poruchy, umělá zpoždění aktivace signálů, konzervativní odklonění hodnot nastavení ochranných systémů by neměla být v analýzách uvažována. Z hlediska předpokladů o provozuschopnosti zařízení a systémů elektrárny je možné v analýzách předpokládat činnost všech systémů (ochranných a řídících) kromě těch, jejichž selhání vedlo k analyzované nadprojektové nehodě a těch, které podle realistického odhadu mohou být poškozeny v důsledku analyzované události.

Dalšími použitelnými (a využívanými) předpoklady jsou:

- Neuvažování jednoduché poruchy ani současné opravy a údržby.
- Neuvažování ZPRZEN, pokud nevzniká přímým důsledkem iniciační události nebo není přímo iniciační událostí.
- Použití přístupu, který povede ke konzervativním výsledkům v případě události, ovlivněné jevem, který nelze patřičně modelovat, např. z důvodu nedostatku experimentálních údajů.

Zásahy obsluhy mohou být uvažovány nejdříve za 30 minut od vzniku události (v případě jasné indikace v čase kratším), pokud tento zásah může být uskutečněn z blokové dozorny a pokud zásah odpovídá příslušnému provoznímu předpisu a obsluha byla v jeho použití náležitě trénována. Pokud nejsou tyto podmínky splněny, měla by být příslušná rezerva pro zásah obsluhy stanovena konzervativně.

Analýzy nadprojektových nehod zahrnují následující události:

- Úplná dlouhodobá ztráta vnitřních a vnějších zdrojů elektrického napájení
- Úplná dlouhodobá ztráta dodávky napájecí vody
- Havárie se ztrátou primárního chladiva při současné ztrátě havarijního chlazení aktivní zóny reaktoru
    - . LOCA při současné ztrátě nízkotlakých čerpadel
    - .. LOCA při současné ztrátě vysokotlakých čerpadel
- Neřízený pokles hladiny nebo ztráta cirkulace v reaktoru při chlazení otevřeného reaktoru nebo při výměně paliva
- Úplná ztráta systému chlazení komponent (vložených uzavřených chladících okruhů)
    - . Roztěsnění ucpávek HCČ
- Ztráta systému odvodu zbytkového tepla reaktoru
- Ztráta chlazení bazénu skladování
- Ztráta koncového systému odvodu tepla
    - Ztráta odvodu tepla ze systému technické vody důležité při LOCA 200 mm
- Neřízené ředění koncentrace kyseliny borité v reaktoru
- Vícenásobné porušení trubek parogenerátoru
- Prasknutí parovodu spojené s prasknutím trubek parogenerátoru
- Ztráta potřebných bezpečnostních systémů při jejich dlouhodobém využití po iniciační události.
    - LOCA při ztrátě technické vody důležité
- Vícenásobné porušení potrubí napájecí vody
- Prasknutí primárního kolektoru PG
    - Únik ze spodní části chladného kolektoru PG orientovaný na radiologické důsledky
    - Únik z horní části horkého kolektoru PG orientovaný na chlazení aktivní zóny
- Roztržení parovodu bez zapůsobení RTS a ESFAS
- Roztržení HPK bez zapůsobení RTS a ESFAS
- Roztržení parovodů dvou PG
- Roztržení 3 parovodů a hlavního napájecího kolektoru
- Současné gilotinové prasknutí hlavního cirkulačního potrubí a trubek PG

U všech uvedených událostí byla sledovaná kritéria přijatelnosti splněna.

15.10.2 ANALÝZY VYBRANÝCH INICIAČNÍCH UDÁLOSTÍ Z ODSTAVENÝCH STAVŮ

Postulované projektové nehody a abnormální provoz, které se mohou vyskytnout v odstaveném stavu, představují významný příspěvek k riziku provozu JE a to především kvůli nedostupnosti některých bezpečnostních systémů a deaktivaci většiny signálů ESFAS.

U JE Dukovany je specifikovaných 7 provozních režimů (viz část 4.1.2), z toho prvních 6 s palivem v reaktoru. Odstavenými stavy se rozumí především režimy 4, 5 a 6 a přechodné stavy mezi těmito režimy. Analýzy událostí z režimů 1, 2 a 3 jsou zahrnuty do příslušných výpočtových variant projektových nehod.

Na základu konceptu ochrany do hloubky je v režimech odstaveného reaktoru nezbytné zajistit následující bezpečnostní funkce:

- zajištění podkritičnosti aktivní zóny (AZ),
- zajištění chlazení AZ (zajištění cirkulace chladiva v I.O, kontrola množství chladiva v I.O, dostupnost odvodu tepla, zajištění el. napájeni, zajištění integrity systému),
- zajištění chlazení a podkritičnosti paliva v bazénu skladování.

Zajištění těchto bezpečnostních funkcí zabrání poškození pokrytí jaderného paliva. Pokrytí paliva je přitom nejdůležitější ochranou barierou v odstaveném stavu (speciálně v podmínkách otevřeného reaktoru a kontejnmentu). Dále jsou tyto bezpečnostní funkce, relevantní pro odstavené stavy, stručně diskutovány:

Zajištění podkritičnosti AZ obsahuje obecně všechna opatření přijatá k tomu, aby nedošlo ke vzniku neúmyslného kritického stavu, ke ztrátě schopnosti řídit reaktivitu, k výkonovým exkurzím, nebo ke ztrátě rezervy na odstavení reaktoru. Ztráta schopnosti řídit reaktivitu by mohla vést k nadměrné produkci tepla v jaderném palivu a k potenciálnímu porušení bariér proti úniku aktivity.

Před vychlazení reaktoru pro překládku paliva je koncentrace H_3BO_3 zvýšena na požadovanou hodnotu a kazety HRK jsou zasunuty do AZ tak, aby byla zajištěna dostatečná zásoba podkritičnosti pro podmínky odstavení s vychlazeným IO. Může ale dojít k selhání některých zařízení nebo k chybě operátora, které způsobí snížení zásoby podkritičnosti. Typický případ je tzv. „ředění bóru“, kdy dojde k vtoku nebórované vody (nebo silně zředěného roztoku H_3BO_3) do aktivní zóny z těchto možných příčin a zdrojů:

- vtok čisté vody z ionexového filtru systému čistění chladiva po jeho proplachu,
- vtok čisté vody použité k dekontaminaci,
- dodávka čisté vody od doplňovacích čerpadel,
- průnik chladicí vody přes netěsný chladič.

Základní metoda likvidace nehod s ředěním bóru je včasná izolace zdroje nebórované vody plus dodávka roztoku kyseliny borité o dostatečné koncentraci.

Zajištění chlazení AZ se týká odvodu zbytkového tepla v podmínkách odstaveného stavu s dochlazováním, zajišťovaného přes sekundární okruh systémem dochlazování. Ztráta chlazení AZ potom může být způsobena některou z následujících příčin:

- ztráta chladiva I.O,
- ztráta cirkulace chladiva v I.O,
- selhání systému dochlazování (ztráta proudění v II.O apod.),
- porucha v podpůrných systémech

Ztráta primárního chladiva může být způsobena typicky například porušením integrity I.O nebo chybným drenážováním IO.

Ztráta cirkulace chladiva v I.O může být způsobena například chybným odtlakováním vedoucím k tvorbě a expanzi parních a/nebo plynových bublin v I.O, chybným zdrenážováním I.O pod výstupní nátrubky reaktoru, průnikem dusíku do I.O aj.

Selhání systému dochlazování může být způsobeno například ztrátou elektrického napájení, ztrátou chlazení komponent, ztrátou technické vody důležité, poruchou dochlazovacího čerpadla, aj.

Zajištění podkritičnosti a chlazení paliva v bazénu vyhořelého paliva zahrnuje různé aspekty, popsané v různých částech bezpečnostní zprávy (skladování a manipulace s čerstvým a vyhořelým palivem, ztráta chlazení nebo ztráta chladiva v bazénu skladování paliva, analýzy podkritičnosti čerstvého a vyhořelého paliva apod.).

Kritéria přijatelnosti vycházejí ze stejných kritérií přijatelnosti, jaká se používají pro hodnocení projektových nehod, doplněna jsou některá speciální kritéria, která se týkají vyřazení jedné nebo obou bariér Jestliže je jedna z bariér: uzavřený reaktor / ochranná obálka.

Počáteční podmínky zahrnují základní počáteční podmínky bloku (provoz smyček, výkon, průtok, teplota a tlak chladiva, hladiny v KO, v PG, tlak páry, parametry napájecí vody, apod.), základní počáteční podmínky aktivní zóny (koeficienty reaktivity, kinetické parametry, parametry ochran reaktoru, apod.) a základní počáteční podmínky pro systém havarijního chlazení aktivní zóny a pro ochrannou obálku (počáteční tlak a teplota v ochranné obálce, teplota vody a hladiny v nádržích, apod.). Na základě těchto počátečních podmínek jsou formulovány výchozí předpoklady takovým způsobem, aby sestavená vstupní data vedla k nejméně příznivým výsledkům z hlediska sledovaných kritérií přijatelnosti.

Funkčnost systémů a činnost obsluhy

Vzhledem k tomu, že analýzy z odstavených stavů jsou součásti analýz projektových nehod, platí pro ně podobný konzervativní přístup. Funkčnost veškerých řídicích systémů se uvažuje jen v případě, že vede ke zhoršení následků iniciační události. V analýzách je uplatněn princip jednoduché poruchy. U uvažovaných bezpečnostních systémů je aplikováno konzervativní odklonění parametrů.

Vzhledem k tomu, že v doporučeních pro analýzy událostí z odstavených stavů není vyžadováno uvažování ZPRZEN jako dodatečné poruchy, není tento předpoklad v analýzách aplikován.

Pro nápravné akce se mají uvažovat pouze ty systémy a komponenty, které jsou projektovány pro práci při odstavených stavech, tj. při zásazích operativního personálu lze využívat i nebezpečnostní systémy v případě, že nejsou poškozeny vlivem iniciační události.

Akce, které vykonává operativní personál, aby předešel nebo zmírnil průběh nehody, jsou modelovány pouze v případě, že lze prokázat, že operátor má dostatek času na požadované zásahy, jsou k dispozici informace pro identifikaci události (či jejích symptomů), existují příslušné psané procedury a je proveden dostatečný výcvik. Zásahy operátora se obvykle nepředpokládají dříve než po 10 minutách od začátku události.

Analýzy vybraných iniciačních událostí z odstavených stavů pokrývají případy:

- Ředění bóru v důsledku doplňování nebórované vody při praní filtrů systému vodoočistky (speciální čištění vody) v režimu 6
- Snižování koncentrace boru v důsledku chybné funkce systému doplňování a borové regulace
- Nesprávné připojení nepracující smyčky v režimu 6
- Ztráta přirozené cirkulace z důvodu poddrenážování v režimu 6
- Neúmyslné zapnutí elktroohříváků KO v režimech 4 a 5
    - Zapnutí EOKO v režimu 4 při teplotě 140°C a tlaku 13,8 MPa
    - Neúmyslné zapnutí elektroohříváků KO v režimu 4 při teplotě 150°C a tlaku 3,5 MPa
    - Neúmyslné zapnutí elektroohříváků KO v režimu 5 při teplotě 70°C a tlaku 2,5 MPa
- Přidání energie od neúmyslného startu HCČ do zcela zaplněného I.O při pevnostní tlakové zkoušce v režimu 4
- Neúmyslné uzavření trasy odpouštění
    - Neúmyslné uzavření trasy odpouštění v režimu 5 při teplotě 60 °C a tlaku 2,5 MPa bez uvažování ZPRZEN
    - Neúmyslné uzavření trasy odpouštění v režimu 5 při teplotě 60 °C a tlaku 2,5 MPa s uvažováním ZPRZEN

- Ztráta odvodu zbytkového tepla v důsledku ztráty elektrického napájení ZPRZEN v režimu 4
- Ztráta přirozené cirkulace v režimu 6
- Ztráta odvodu tepla z důvodu ztráty proudění v II.O
  - Ztráta proudění v II.O v režimu 5 po výměně paliva
  - Ztráta proudění v II.O v režimu 6 po výměně paliva s hladinou v reaktoru pod hlavní dělící rovinu,
  - Analýzy ztráty odvodu zbytkového tepla v režimu 6,
  - Analýzy ztráty odvodu zbytkového tepla v režimu 6,
  - Analýzy ztráty odvodu zbytkového tepla v režimu 6, uzavřený roztěsněný reaktor,
  - Analýzy ztráty odvodu zbytkového tepla v režimu 5,
- LOCA 2x500 mm v režimu 3 při tlaku 6,5 MPa, teplotě 255 °C a bez hydroakumulátorů,
- LOCA v režimu 4 bez ESFAS a se spuštěním vysokotlakých čerpadel operátorem,
  - LOCA s únikem D30 v režimu 4 při teplotě I.O 185°C,
  - LOCA s únikem D50 v režimu 4 při teplotě I.O 155°C,
  - LOCA s únikem D60 v režimu 4 při teplotě I.O 140°C.

Analýzy prokázaly splnění sledovaných kritérií přijatelnosti pro havarijní podmínky a v případě očekávané součinnosti obsluhy dostatečné časové intervaly pro provedení nápravných opatření.

15.10.3 DALŠÍ SPECIÁLNÍ ANALÝZY

V části 15.9.3 jsou popsány možné příčiny a důsledky následujících specifických případů:

- Poruchy v bazénu skladování paliva
- Selhání kulového uzávěru hydroakumulátoru při LOCA
- Analýza zpětného proudění z PG do reaktoru po prasknutí trubky PG
- Bezpečnostní analýza úniku chladiva z primárního okruhu vedoucího ke zvýšení koncentrace kyseliny borité v aktivní zóně
- Analýza tlakových rázů v důsledku zaplnění PG po odstavení příslušného HCČ a nezregulování napájecí vody

Analýzy prokázaly splnění sledovaných kritérií přijatelnosti pro havarijní podmínky a v případě očekávané součinnosti obsluhy dostatečné časové intervaly pro provedení nápravných opatření.

16 Limity a podmínky bezpečného provozu

16.1 Účel limit a podmínek pro normální provoz

Limity a podmínky bezpečného provozu je jeden ze základních bezpečnostních dokumentů JE Dukovany, který stanovuje deterministické podmínky pro jednotlivé prvky, systémy, zařízení a komponenty jaderné elektrárny, při jejichž dodržení je zajištěno plnění základních bezpečnostních funkcí. Při plnění stanovených limitů a podmínek jsou úrovně DiD 1 až DiD 3 považovány za robustní a porušení limit a podmínek může vést k jejich oslabení. V případě DiD 4 (a DiD 5) jsou již základní bezpečnostní funkce více či méně degradovány, proto příslušné prvky, projektované primárně pro použití v úrovni DiD 4, nejsou tímto způsobem limitovány.

16.1.1 Struktura limit a podmínek

Dokument Limity a podmínky (LaP) obsahuje soubor jednotlivých limitních podmínek, které stanovují jednoznačně definované požadavky na stav zařízení, na hodnoty jeho základních parametrů a nastavení a na činnost pracovníků, které jsou pro plnění limitní podmínky vyžadovány. Limitní podmínka je obvykle členěna na:

- Limitní podmínku pro provoz (LPP) nebo nastavení ochranných systémů (NOS).
- Platnost limitní podmínky.
- Činnosti, vztahující se k limitní podmínce.
- Požadavky na kontrolu plnění limitní podmínky.

Součástí limit a podmínek jsou rovněž organizační opatření, která stanovují:

- Nezbytné činnosti a opatření, které musí být provedeny (včetně doby na jejich provedení), pro případy kdy došlo k dosažení či překročení přípustných parametrů nebo nebyly splněny požadavky na provozuschopnost zařízení nebo nebyla splněna některá z podmínek nastavení ochranných systémů.
- Zodpovědnosti řídících pracovníků v rámci organizace držitele povolení (ČEZ, a. s.), kvalifikaci vybraných pracovníků, požadavky na minimální obsazení směn, vnitřní a vnější kontrolu dodržování limitů a podmínek a povinnost předávání informací ve vztahu k dozorným orgánům (SÚJB).

16.1.1.1 Limitní podmínka pro provoz

Limitní podmínka pro provoz stanovuje podmínky pro bezpečný provoz jaderného zařízení v režimech uvažovaných a analyzovaných v bezpečnostních zprávách daného jaderného zařízení a zahrnuje zejména:

- Rozsahy, ve kterých je nutno udržovat fyzikální a technologické parametry tak, aby bylo zajištěno, že nedojde v průběhu provozu k nežádoucímu dosažení hodnot parametrů nastavení zapůsobení ochranných systémů, a ve kterých je prokázána bezpečnost jaderného zařízení.
- Požadavky na provozuschopnost zařízení, důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti tak, aby zařízení plnilo požadované funkce v rámci definovaných podmínek.
- Hodnoty ostatních bezpečnostně významných parametrů, v jejichž rozsahu je prokázána bezpečnost jaderného zařízení.

16.1.1.2 Nastavení ochranných systémů

Nastavení ochranných systémů udává hodnoty fyzikálních a technologických parametrů, důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti, při jejichž dosažení se automaticky uvádějí v činnosti jednotlivé ochranné a bezpečnostní systémy. Tyto hodnoty jsou stanoveny tak, aby kontrolované parametry i při následujícím přechodovém procesu nepřekročily bezpečnostní limity.

16.1.1.3 Platnost limitní podmínky

Platnost stanovuje, pro jaký provozní režim, popřípadě jiný provozní stav jaderného zařízení (v této podmínce definovaný), platí daná limitní podmínka.

16.1.1.4 Činnosti, vztahující se k limitní podmínce

Činnosti jsou členěny na stavy, požadované činnosti, doby provedení a krok. Stav charakterizuje situaci, ve kterých nejsou plněny požadavky limitní podmínky. Pro každý definovaný stav (tj. pro případy, kdy došlo k dosažení či překročení přípustných parametrů, nebo nebyly splněny požadavky na provozuschopnost nebo nebyla splněna některá z podmínek nastavení či zapracování ochranných systémů) jsou předepsány požadované činnosti a příslušné doby provedení.

Požadovaná činnost stanovuje nezbytné činnosti a opatření, které musí být provedeny tak, aby nedošlo k porušení limitní podmínky. Doba provedení stanovuje dobu na provedení těchto činností a opatření. Krok stanovuje další postup v činnosti, kterým je buď odkaz na příslušný řádek v činnosti, nebo koncový stav.

Koncový stav je takový stav bloku, kdy jsou vykonávány činnosti, zamezující neakceptovatelnému snížení úrovně jaderné bezpečnosti z důvodů neplnění požadavků, stanovených příslušnou limitní podmínkou nebo jsou zakázány činnosti, jejichž vykonávání vede nebo může vést k neakceptovatelnému snížení úrovně jaderné bezpečnosti nebo je dosažen režim bloku, kdy je již příslušná limitní podmínka mimo platnost.

16.1.1.5 Požadavky na kontrolu

Požadavky na kontrolu jsou členěny na kontroly a jejich frekvence. Kontroly pak určují rozsah a frekvence četnost pravidelných kontrol dodržování přípustných parametrů, podmínek provozuschopnosti zařízení a nastavení ochranných systémů.

16.1.2 Vysvětlení základních termínů používaných LaP

16.1.2.1 Normální a abnormální provoz

Za **normální provoz** jsou považovány všechny stavy a operace plánovaného provozu jaderného zařízení, při kterém jsou dodrženy limity a podmínky bezpečného provozu jaderného zařízení. Jsou to zejména ustálený provoz a odstavování reaktoru, opětovné uvádění reaktoru do kritického stavu, zvyšování a snižování jeho výkonu, údržba, opravy a odstávka pro výměnu paliva.

Abnormálním provozem jsou stavy, operace a události, odkloňující se od normálního provozu, které jsou neplánované, ale jejichž výskyt lze při provozu jaderného zařízení očekávat. Jsou to například rychlé odstavení reaktoru, náhlý pokles zatížení turbogenerátoru, výpadek turbíny, ztráta napájení vlastní spotřeby z vnější sítě, výpadek hlavního cirkulačního čerpadla a podobně. Abnormální provozní stavy nesmějí vést k poškození pokrytí palivových proutků, porušení palivových elementů, porušení integrity primárního okruhu nebo porušení kontejnmentu. Nepřipouští tedy jakékoliv poškození bariér proti úniku RA látek. Po ukončení abnormálního provozu, odstranění jeho příčin a následků, je jaderné zařízení schopno dalšího normálního provozu.

Jiným provozním stavem je pak stav, určující platnost limitní podmínky (je součástí jejího znění), pokud tato není určena pouze režimem (viz Error: Reference source not found).

16.1.2.2 Ustálený a přechodový režim

Ustálený provozní režim je stav reaktoru, ve kterém nedochází k časovým změnám v rozložení výkonu v aktivní zóně nebo k časovým změnám termohydraulických parametrů

primárního okruhu. Za časovou změnu se nepovažuje vliv vyhořívání jaderného paliva a s ním spojenou kompenzaci reaktivity reaktoru pro udržení konstantního výkonu.

Přechodový provozní režim je stav reaktoru, ve kterém dochází k časovým změnám v rozložení výkonu v aktivní zóně v důsledku změny výkonu, polohy regulačních kazet, koncentrace H3BO3 v chladivu nebo k časovým změnám termohydraulických parametrů primárního okruhu. Za časovou změnu se nepovažuje vyhořívání paliva a s ním spojenou kompenzaci reaktivity reaktoru pro udržení konstantního výkonu. Po provedení změny výkonu reaktoru zahrnuje přechodový provozní režim i následující dobu 72 hodin pro odeznění dobíhajících změn, spojených s nestacionární xenonovou otravou rektoru.

16.1.2.3 Výměna jaderného paliva

Výměna jaderného paliva je období v režimu 6, které začíná zahájením manipulací s palivem dle harmonogramu manipulací s palivem a končí potvrzením správnosti zavezení aktivní zóny. V případě úplného vyvezení aktivní zóny je výměna paliva přerušena na dobu, po kterou je blok převeden do režimu 7.

Odstavná koncentrace pro výměnu paliva je odstavná koncentrace kyseliny borité, stanovená pro parametry aktivní zóny po provedené výměně, minimálně však 12 g/kg.

16.1.2.4 Jaderně-fyzikální pojmy

Bezpečnostní zásoba podkritičnosti je okamžitá existující (nebo okamžitá dosažitelná) hodnota podkritičnosti reaktoru po odkompenzování teplotního a výkonového efektu reaktivity v případě, že všechny vysunuté řídící kazety se plně zasunou do aktivní zóny, s výjimkou jedné řídící kazety s největší reaktivitou, která zůstane úplně vysunuta. Teplotní efekt je dán snížením střední teploty chladiva v reaktoru na teplotu, která je minimem ze dvou hodnot: 240 ºC nebo střední teplota chladiva ve výchozím stavu snížená o 20 ºC.

Odstavná koncentrace je kritická koncentrace H3BO3 studeného (20 °C) neotráveného reaktoru s nulovým výkonem a s úplně vytaženými regulačními kazetami, zvýšená o 1 g/kg.

Spouštěcí interval je stav reaktoru v průběhu dosahování kritického stavu, v němž je podkritičnost od - 1 % do 0 % reaktivity, vztažená buď k předem určené kritické koncentraci, pokud je kritický stav dosahován změnou koncentrace H3BO3, nebo k předem určené kritické poloze regulačních kazet, pokud je kritický stav dosahován jejich vytahováním.

16.1.2.5 Administrativní pojmy

Každá limitní podmínka stanovuje jednoznačně definované požadavky na stav zařízení, hodnoty jeho základních parametrů a nastavení a na činnosti pracovníků, které jsou pro její plnění vyžadovány.

Čerpáním limitní podmínky se rozumí nesplnění požadavků limit a podmínek. K čerpání dochází po dobu provádění požadovaných činností během stanovené doby provedení. Požadovaná činnost stanovuje nezbytné činnosti a opatření, které musí být provedeny. Doba provedení stanovuje dobu na provedení těchto činností a opatření.

Porušením limit a podmínek se rozumí nedodržení ustanovení limit a podmínek v části bezpečnostních limitů, limitních podmínek nebo organizačních opatření. K porušení limitní podmínky dojde, pokud nebyla provedena požadovaná činnost během stanovené doby provedení nebo nebyly dodrženy předepsané požadavky na kontrolu.

Provozuschopnost zařízení je chápana jako schopnost zařízení vykonávat svoji technologickou funkci, která je nezbytná pro plnění některé základní bezpečnostní funkce. Opakem je neprovozuschopnost.

16.1.2.6 Definice provozních režimů bloku v LaP

Provozní režim bloku je stav, odpovídající určité kombinaci tepelného výkonu reaktoru, reaktivity, teploty, tlaku a přítomnosti paliva v aktivní zóně. Přehled provozních režimů R1 – R7 je uveden v následující tabulce:

Tab. 52. Provozní režimy bloků JE Dukovany

Režim	Název režimu	Výkon reaktoru [% N_{nom}]	Reaktivita Δk/k [%]	Teplota $T_{I.O}$, T_{HVS} [°C]	Tlak $p_{I.O}$ [MPa]
R1	Provoz na výkonu	> 2	> -1	$T_{I.O} > 250$	$p_{I.O} > 9,3$
R2	Nevýkonový provoz[49]	≤ 2	≥ -1	$T_{I.O} > 190$	$p_{I.O.} > 9,3$
R3	Horká rezerva	Zbytkový výkon	< -1	$T_{HVS} \geq 180$	$p_{I.O} > p_{atm}$
R4	Polohorká rezerva	Zbytkový výkon	< -1	$T_{HVS} \geq 90$	$p_{I.O} > p_{atm}$
R5	Odstavení s dochlazením primárního okruhu	Zbytkový výkon	< -1	$T_{HVS} < 90$	$p_{I.O} > p_{atm}$
R6	Odstavení s roztěsněním primárního okruhu	Zbytkový výkon	< -1	$T_{HVS} < 90$	$p_{I.O} = p_{atm}$[50]
R7	Vyvezení paliva z aktivní zóny	Aktivní zóna neobsahuje palivo			

Legenda k tabulce:

N_{nom} Nominální tepelný výkon reaktoru.

Δk/k Reaktivita reaktoru, k = k_{ef} je efektivní multiplikační koeficient reaktoru.

$T_{I.O}$ Střední teplota chladiva primárního okruhu, určená jako střední hodnota aritmetických průměrů teplot v horkých větvích a studených větvích jednotlivých smyček, připojených k reaktoru.

T_{HVS} Teplota chladiva v horkých větvích smyček[51]

$p_{I.O}$ Tlak v primárním okruhu.

p_{atm} Atmosférický tlak.

16.1.3 Pravidla pro používání limit a podmínek (LaP)

Limity a podmínky jsou určeny pro normální a abnormální provoz a jsou nadřazeny všem provozním předpisům, řešícím provozní stavy normálního a abnormálního provozu. Nachází-li se jaderné zařízení ve stavu, kdy je nutno užít pro likvidaci těchto stavů speciální postupy pro likvidaci abnormálních situací, likvidaci mimořádných stavů nebo likvidaci havárie, je prioritou z hlediska LaP nedosažení hodnot bezpečnostních limitů. Nejsou-li v tomto stavu plněny limitní podmínky, nejde o čerpání ani porušení LaP, jestliže je daný postup v souladu s postupem příslušného předpisu, řešícího likvidaci těchto stavů.

[49] Maximální povolená doba setrvání v R2 je 72 hodin. Poté se musí buď přejít do R1 nebo odstavit reaktor do R3.

[50] Atmosférický tlak je zabezpečen otevřením odvzdušnění reaktoru, nebo kompenzátoru objemu (možno i přes barbotážní nádrž) do atmosféry.

[51] K přechodu z R4 do R3 dojde při aktivaci divizí ESFAS od T_{HVS} na 180 °C. K přechodu z R3 do R4 dojde při povolení deaktivace divizí ESFAS od T_{HVS} pod 180 °C. K přechodu z R5 do R4 dojde při aktivaci divizí ESFAS od T_{HVS} na 90 °C. K přechodu z R4 do R5 dojde při povolení deaktivace divizí ESFAS od T_{HVS} pod 90 °C.

Požadavky limitní podmínky musí být splněny v režimech nebo jiných provozních stavech, specifikovaných v rámci platnosti dané limitní podmínky.

Když nejsou splněny požadavky limitní podmínky nebo příslušné činnosti nejsou vůbec stanoveny, blok musí být převeden do režimu nebo jiného provozního stavu, ve kterém platnost limitní podmínky není požadována.

Čerpání limit a podmínek je zahájeno okamžikem zjištění neplnění jejich požadavků a je ukončeno okamžikem obnovení plnění požadavků nebo dosažením režimu, ve kterém již limitní podmínka nemá platnost. V rámci jedné, nebo několika limitních podmínek může nastat souběžné čerpání limit a podmínek. Požadované činnosti pak musí být vykonány pro všechny stavy samostatně. V případě, že se požadované činnosti dublují, vykonají se jen jednou, a to v době provedení, která je kratší.

Za čerpání limit a podmínek se nepovažuje:

- Není dostupná informace (měřící obvod, RCH, atd.) k ověření plnění limitní podmínky a jsou splněny příslušné požadované kontroly.
- Nesplnění požadavku limitní podmínky v průběhu přechodového procesu, souvisejícího s abnormálním provozem. Čerpání limitní podmínky se zahajuje až po stabilizaci přechodového procesu, avšak pouze v případě, že i po stabilizaci trvá nesoulad mezi okamžitým stavem a požadavkem limitní podmínky.
- Uvedení zařízení do provozu za účelem provedení zkoušek, prokazujících jeho provozuschopnost nebo provozuschopnost jiného zařízení.

Požadavky na kontrolu musí být splněny. Nesplnění požadavků na kontroly, zjištěné během provádění kontroly nebo mezi prováděním kontrol znamená, že nejsou plněny požadavky limitní podmínky. Pokud kontrola nebyla provedena v rámci požadované frekvence nebo požadavky kontroly nejsou splněny, nesmí být blok převeden do režimu nebo jiného provozního stavu v rámci platnosti. Tento požadavek nesmí bránit přechodům do režimů nebo jiných provozních stavů v rámci platnosti, pokud jsou tyto nezbytné pro splnění požadavků činností nebo pokud jsou součástí odstavování bloku.

V případě porušení limit a podmínek je nutno provést následující opatření:

- Neodkladně obnovit soulad s limity a podmínkami. Není-li možné soulad obnovit je nutné reaktorový blok převést do režimu nebo jiného provozního stavu, ve kterém není platnost příslušné limitní podmínky požadována s výjimkou případů porušení limit a podmínek z důvodu nesplnění požadovaných kontrol.
- Každé porušení limit a podmínek musí být zapsané v provozním deníku vedoucího reaktorového bloku, tento musí zároveň o situaci ihned uvědomit směnového inženýra.
- Směnový inženýr musí ihned telefonicky informovat SÚJB a postupovat v souladu s příslušnou řídící dokumentací.
- Do 72 hodin musí být předána na SÚJB předběžná zpráva o porušení limit a podmínek, která obsahuje:
  - Okolnosti, které předcházely porušení limit a podmínek.
  - Vliv porušení limit a podmínek na zařízení, systémy a konstrukce.
  - Okamžitá nápravná opatření k zamezení opakovaného výskytu.
- Zpráva o porušení limit a podmínek musí být spolu s rozborem, projednaným na poruchové komisi za přítomnosti zástupce SÚJB, předložena SÚJB do 30 dní od vzniku události.

16.2 Bezpečnostní limity a nastavení ochranných systémů

Bezpečnostní limity slouží k nastavení takových provozních podmínek, aby byla zajištěna celistvost a neporušenost bariér proti úniku RA látek do životního prostředí. Protože bariéry jsou projektovány a konstruovány jako reálná technická zařízení, je pro jejich správnou funkci nutné zajistit nastavení takových provozních parametrů, které nepovedou k jejich narušení jejich základní bezpečnostní funkci tak neohrozí.

Součástí je i nastavení ochranných systémů. Právě ochranné systémy musí při nedodržení technologických parametrů, které vyplývají z bezpečnostních limitů, uvést do činnosti

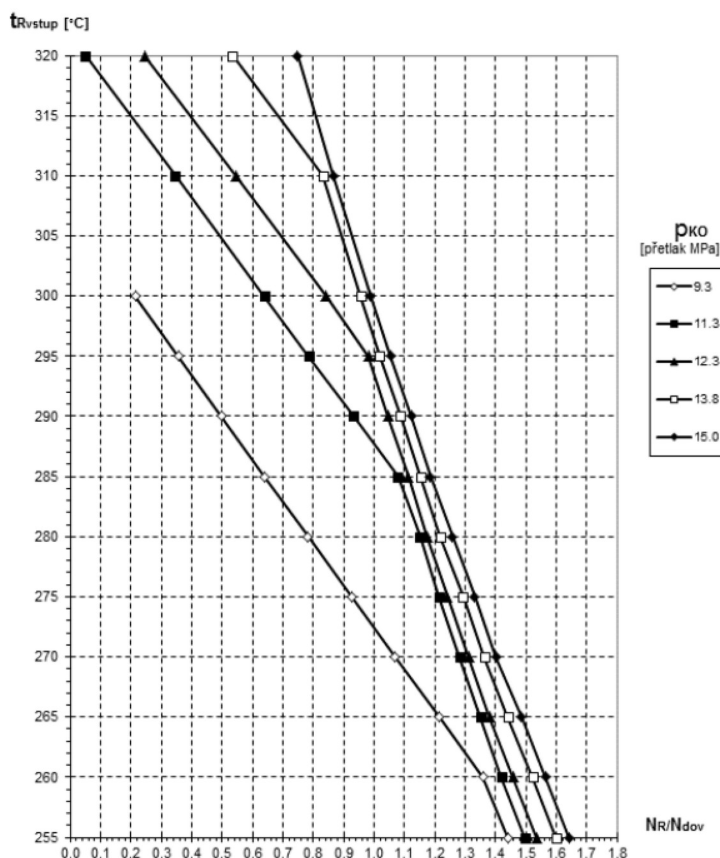
automatická opatření, která návratem technologických parametrů do bezpečného limitu tyto bariéry ochrání.

16.2.1 Bezpečnostní limit integrity paliva

Účelem bezpečnostního limitu integrity paliva je předejít důsledkům přehřátí paliva a jeho pokrytí, vzniku chemické reakce voda – zirkonium a následně poškození pokrytí, které by mohlo vyústit v uvolnění produktů štěpení do chladiva primárního okruhu. Přehřátí pokrytí paliva se předchází především jeho trvalým provozováním v režimu přestupu tepla v oblasti jednofázového proudění nejvýše s malým podílem bublinkového varu, kde je vysoký součinitel přestupu tepla a kdy teplota pokrytí může ležet jen mírně nad teplotou sytosti chladiva. Provozování paliva v režimu přestupu tepla nad oblastí bublinkového varu může vést k přehřátí pokrytí v důsledku DNB (krize varu prvního druhu) díky prudkému poklesu součinitele přestupu tepla. Pod parní blánou může docházet při vysokých teplotách k chemické reakci voda – zirkonium, vedoucí ke zkřehnutí pokrytí, jeho následnému porušení a k nekontrolovatelnému uvolnění aktivity do chladiva.

Těsnost druhé bariéry tj. pokrytí paliva u čerstvého paliva je potvrzena jeho výrobcem v pasportech palivových souborů a provozovatelem kontrolami v uzlu čerstvého paliva a v přejímacím protokolu. V průběhu palivové kampaně se provádí průběžná kontrola této bariéry měřením aktivity chladiva primárního okruhu. Zvýšení aktivity chladiva přitom nemusí být nutně způsobeno nedodržením bezpečnostního limitu integrity paliva, netěsnost pokrytí paliva může vzniknout i jiným mechanizmem.

Pro provozní orientaci při stanovení bezpečnostního limitu integrity paliva je stanovena limitní podmínka, která umožňuje odečet pracovního bodu primárního okruhu na grafu pro kombinaci počtu provozovaných cirkulačních smyček a počtu pracujících hlavních cirkulačních čerpadel. Na níže uvedeném obrázku je jako příklad uveden graf pro provoz šesti smyček s pracujícími hlavními cirkulačními čerpadly.



Obr. 144. Bezpečnostní limit integrity paliva při provozu 6 smyček s pracujícími HCČ

Vlastní limitní podmínka pak zní:

Bod o souřadnicích [počet pracujících HCČ, tepelný výkon N_R/N_{dov}, střední teplota chladiva na vstupu do aktivní zóny t_{Rvstup}] musí ležet pod křivkou tlaku v kompenzátoru objemu p_{KO} dle příslušného diagramu.

Plnění limitní podmínky je vázáno na režimy R1 a R2.

16.2.2 Bezpečnostní limit integrity primárního okruhu

Přetlakování primárního okruhu může vést k porušení jeho tlakové hranice, která tvoří třetí bariéru proti šíření RA látek do životního prostředí. Jestliže by k tomuto došlo současně s poruchou pokrytí, došlo by k uvolnění produktů štěpení do atmosféry kontejnmentu a možnému zvýšení, případně i porušení limitů pro radioaktivní výpustě do okolí elektrárny. Třetí bariéru proti úniku RA látek tvoří tlakový celek primárního okruhu, tedy tlaková nádoba reaktoru včetně horního bloku, cirkulační smyčky, hydraulické části hlavních cirkulačních čerpadel, kompenzátor objemu včetně jeho pojistných ventilů a propojovacích potrubí, primární části parogenerátorů, části všech napojených systémů (systémy TC, TK, TJ, TH a TY) vždy po první oddělovací armaturu.

K narušení bariéry může dojít iniciací trhlin nebo poruch v základním materiálu, prasknutím svarového spoje nebo nepřípustným natlakováním. Zapracování pojistných nebo odlehčovacích ventilů kompenzátoru objemu v souladu s projektem a při zkouškách, při kterých nedojde k protržení membrány u barbotážní nádrže, přičemž uzavírací element je po zapracování těsný, se nepovažuje za porušení bariéry.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Tlak v primárním okruhu musí být ≤ 15,1 MPa.

Plnění limitní podmínky je vázáno na režimy R1, R2, R3, R4[52] a R5.

16.2.3 Bezpečnostní limit integrity kontejnmentu

Cílem tohoto bezpečnostního limitu je stanovit mezní hodnoty přetlaku a podtlaku v hermetické zóně. Bezpečnostní limit tlaku v hermetické zóně tak zajišťuje její trvalou integritu ve všech projektem a v bezpečnostních analýzách předpokládaných stavech. Kontejnment je poslední (čtvrtou) bariérou proti úniku RA látek do životního prostředí. Porušení integrity kontejnmentu tak může vést k větším únikům radioaktivity do životního prostředí, než jaké jsou předpokládány v bezpečnostních analýzách.

Pro návrh konstrukcí hermetické zóny byl uvažován maximální absolutní tlak v boxu parogenerátorů při maximální projektové havárii (roztržení cirkulační smyčky v plném průřezu) 250 kPa, čemuž odpovídá přetlak 150 kPa. Pro návrh konstrukcí a vystýlek hermetické zóny bylo dále uvažováno zatížení absolutním tlakem 80 kPa, čemuž odpovídá podtlak -20 kPa.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A: Tlak v hermetické obálce musí být ≤ 250 kPa absolutních.[53]

B: Tlak v hermetické obálce musí být ≥ 80 kPa absolutních.

Plnění limitní podmínky je vázáno na režimy R1, R2, R3, R4, R5, R6 a R7.

16.2.4 Nastavení ochranných systémů

Jaderná zařízení, jejichž součástí je jaderný reaktor, musí být vybavena ochrannými systémy, které musí být[54]:

- Schopny rozeznávat abnormální provoz (DiD 2) a automaticky uvést do činnosti příslušné systémy včetně odstavení reaktoru tak, aby bylo zajištěno, že projektové limity nebudou překročeny.

[52] V R4 limitní podmínka neplatí po dobu provádění pevnostní tlakové zkoušky.

[53] Tato limitní podmínka neplatí po dobu provádění pevnostní tlakové zkoušky kontejnmentu.

[54] Vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. Na LaP se vztahují ty části vyhlášky č. 195/1999 Sb., které jsou převzaty z Výnosu ČSKAE č. 2/1978 Sb.

- Schopny rozeznávat havarijní podmínky (DiD 3) a uvést do činnosti příslušné systémy ke zmírnění následků těchto podmínek.
- Nadřazeny činnosti řídicích systémů a obsluhy jaderného zařízení ve všech stavech, uvažovaných v návrhu jaderného zařízení, přičemž obsluha musí mít možnost uvést ochranný systém do činnosti ručně.

Pro splnění těchto požadavků je na elektrárně implementován systém RTS (Reactor Trip System), zajišťující automatické rychlé odstavení reaktoru (ROR) při dosažení hodnot nastavení ochranných systémů a systém ESFAS (Engineered Safety Features Actuation System), uvádějící automaticky do činnosti technologické bezpečnostní systémy při dosažení hodnot nastavení ochranných systémů. Součástí těchto systémů jsou i prostředky ruční iniciace, umístěné na blokové dozorně a nouzové dozorně, umožňující obsluze reaktoru aktivovat ručně rychlé odstavení reaktoru (Reactor Trip) a vybrané funkce ESFAS.

Hodnoty nastavení ochranných systémů u systémů RTS a ESFAS jsou takové, aby se dle bezpečnostních limitů integrity paliva a integrity primárního okruhu předešlo všem kombinacím teploty na vstupu do aktivní zóny reaktoru, tlaku v primárním okruhu, tepelného výkonu aktivní zóny a průtoku aktivní zónou při očekávatelných přechodových procesech normálního a abnormálního provozu, které by mohly způsobit:

- Porušení integrity paliva.
- Vznik nestability průtoku.
- Porušení integrity primárního okruhu.

Hodnoty nastavení ochranných systémů u systémů RTS a ESFAS musí dále splňovat podmínku pro dodržení bezpečnostního limitu integrity kontejnmentu tak, aby se předešlo činností bezpečnostních systémů její narušení.

Hodnoty nastavení aktivace systémů RTS a ESFAS platí pro všechny redundance, použité v JE Dukovany, dle projektových požadavků a konstrukčního provedení.

Hodnoty nastavení systému RTS pro vyvolání rychlého odstavení reaktoru jsou stanoveny dle výsledků analýz tak, aby pokrývaly všechny projektem předpokládané události. Proto je v případě některých parametrů iniciace signálu od různých kombinací různě nastavených hodnot:

- Překročení rychlosti nárůstu neutronového výkonu aktivní zóny (periody) v pásmech nízkého i vysokého výkonu.
- Překročení neutronového výkonu aktivní zóny v pásmu vysokého výkonu.
- Kombinace nízkého tlaku v primárním okruhu a nízké hladiny v kompenzátoru objemu.
- Nízký tlak v primárním okruhu (nižší mez než v předchozím případě kombinace).
- Vysoký tlak v primárním okruhu.
- Nízká hladina v kompenzátoru objemu (nižší mez než v předchozím případě kombinace).
- Vysoká hladina v kompenzátoru objemu.
- Zvýšení teploty horkých větví primárních cirkulačních smyček.
- Převýšení tlakového spádu na aktivní zóně.
- Výpadek 4 a více hlavních cirkulačních čerpadel (4/6).
- Zvýšení tlaku v kontejnmentu.
- Nepřípustný pokles tlaku v hlavním parním kolektoru.
- Nepřípustné zvýšení tlaku v hlavním parním kolektoru při reaktoru na výkonu > 33%.
- Snížení hladiny ve dvou parogenerátorech (ze šesti).
- Snížení tlaku ve výtlačném kolektoru napájecích čerpadel.

Hodnoty nastavení systému ESFAS iniciují jednotlivé signály, které spouští různé bezpečnostní systémy tak, aby bylo jejich prostřednictvím dosaženo plnění bezpečnostních funkcí. Nastavení systému ESFAS je provedeno tak, aby před iniciací příslušného signálu došlo k iniciaci systému RTS (zpravidla od stejného parametru, ale s odlišně nastaveným setpointem) a bezpečnostní systémy tak byly uvedeny v činnost až po odstavení reaktoru. Podmínkou pro iniciaci signálů je teplota v horkých větvích primárních cirkulačních smyček

tak, aby při poklesu této teploty již k zapůsobení signálu nedošlo[55]. Iniciované signály jsou následující:

- Přetlak v boxu parogenerátorů (iniciováno přetlakem v kontejnmentu).
- Velký únik (iniciováno poklesem tlaku v primárním okruhu).
- Střední únik (iniciováno poklesem hladiny v kompenzátoru objemu a současně poklesem tlaku v primárním okruhu).
- Malý únik (iniciováno poklesem hladiny v kompenzátoru objemu).
- Ztráta napájecí vody (iniciováno poklesem hladiny v parogenerátorech).
- Roztržení hlavního parního kolektoru (iniciováno poklesem tlaku v hlavním parním kolektoru).
- Přetlak v hermetické zóně (iniciováno přetlakem v kontejnmentu).
- Roztržení hlavního napájecího kolektoru (iniciováno poklesem tlaku v hlavním napájecím kolektoru a poklesem hladiny v napájecích nádržích).
- Prasknutí parovodu PG 1 - 6 (iniciováno rozdílem tlaku v příslušném parogenerátoru a hlavním parním kolektoru).

Vlastní limitní podmínka pak zní:

Hodnoty nastavení měřicích kanálů ochranných systémů u funkcí RTS a ESFAS musí splňovat požadavky příslušných v LaP uvedených tabulek.

Plnění limitní podmínky je vázáno na režimy platnosti limitních podmínek pro jednotlivé akční členy tak, aby byla zajištěna návaznost připravenosti iniciace signálu a příslušné iniciované technologie.

16.3 Limitní podmínky pro normální a abnormální provoz

16.3.1 Systémy řízení reaktivity

Systémy řízení reaktivity zajišťují plnění první základní bezpečnostní funkce, tedy řízení reaktivity aktivní zóny reaktoru (viz kap. Error: Reference source not found).

16.3.1.1 Mechanická regulace

Systém mechanické regulace sestává z 37 havarijních a regulačních kazet (HRK) které jsou symetricky uspořádány v aktivní zóně reaktoru a mohou se přemisťovat ve vertikálním směru. HRK jsou pracovním orgánem systému ochrany a regulace a jsou rozděleny do šesti pracovních skupin.

Každá HRK je tvořena absorpčním nástavcem a palivovou částí, které jsou prostřednictvím vložené tyče spřaženy s tyčí pohonu. V koncovce palivové části je umístěn brzdicí mechanizmus, který zajišťuje brzdění HRK při dopadu do dolní koncové polohy. Splnění bezpečnostní funkce je z fyzikálního hlediska zajištěno zavedením dostatečného množství absorpčních jader bóru do aktivní zóny mechanickým způsobem. Technicky je splnění bezpečnostní funkce zajištěno průchodem signálu od RTS na pohony všech HRK. Tyto signály způsobí přerušení napájení pohonu HRK a následný pád kazet do aktivní zóny reaktoru.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Všechny HRK musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vztažena na režimy R1, R2 a R3 až do vytvoření odstavné koncentrace.

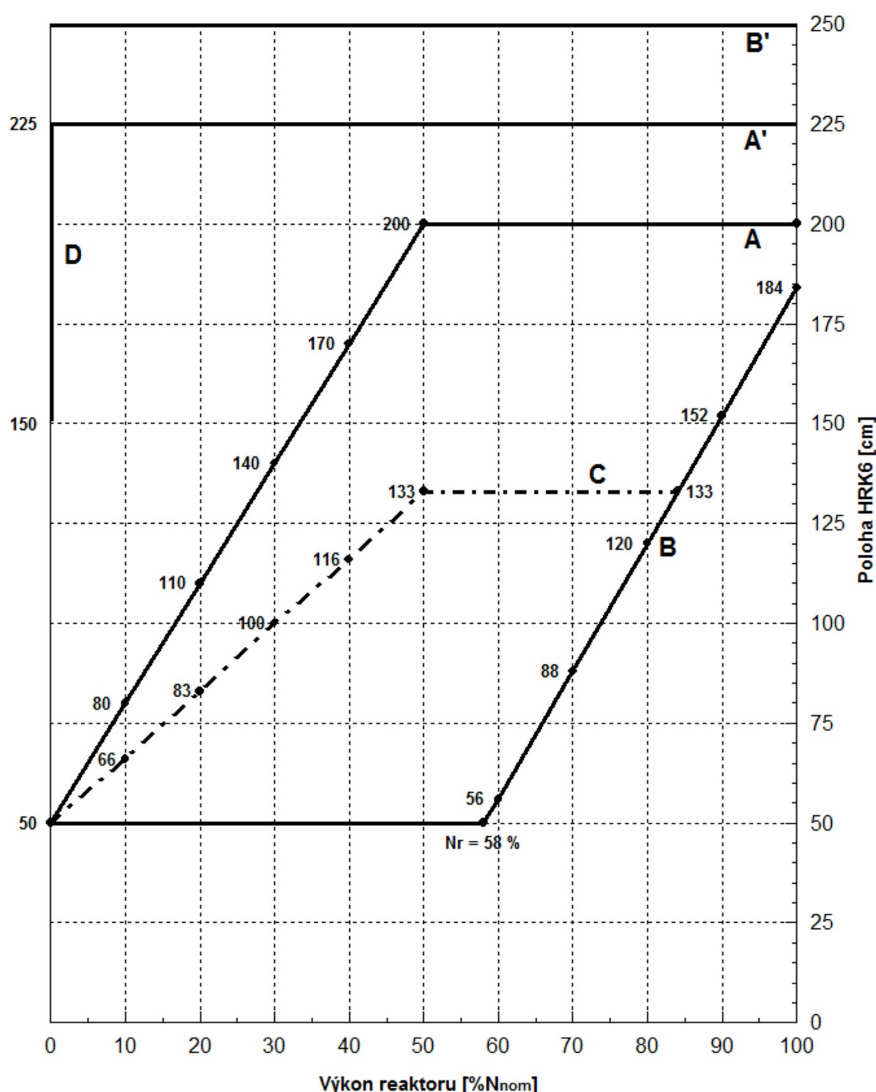
16.3.1.2 Zasunutí skupin regulačních kazet

Bezpečnostní funkce systému havarijních regulačních kazet je plněna, pokud je zasunutí skupin kazet HRK pouze takové, že je schopno:

[55] Pro signál „Velký únik“ pod teplotou 245 °C, pro signál „Přetlak v boxu“ a „Přetlak v hermetické zóně“ pod teplotou 90 °C, pro ostatní signály pod teplotou 180 °C.

- Zajistit dostatečnou zásobu záporné reaktivity (bezpečnostní zásobu podkritičnosti) pro spolehlivé rychlé odstavení reaktoru a jeho udržení v podkritickém stavu v průběhu normálního i abnormálního provozu i při vzniku havarijních podmínek.
- Splnit kritéria přijatelnosti při havarijních událostech, spojených s vnosem kladné reaktivity (vystřelení kazety HRK, neřízené vysouvání kazet HRK).

V průběhu normálního provozu se připouští pouze zasunutí jediné, a to 6. skupiny HRK (též nazývané regulační). Ostatní skupiny musí být vytaženy v horních koncových polohách. Obecně se pak tato poloha dále omezuje z hlediska sledované události a příslušného kritéria přijatelnosti. Tyto předpoklady vstupují do konstrukce diagramu dovolených poloh HRK dle Obr. 145..



Obr. 145. Povolené polohy 6. pracovní skupiny HRK

A – A´ Pásmo dovolených poloh pro USTÁLENÝ PROVOZNÍ REŽIM.

B – B´ Pásmo dovolených poloh pro přechodový provozní režim a pro následující případy ustálených provozních režimů:

1 – Provoz reaktoru na konci cyklu při $c_b \leq 0,5$ g/kg.

2 – Blok je v pohotovosti pro zařazení do režimu regulace činného výkonu.

3 – Blok je připravován pro plánované zvýšení nebo snížení výkonu.

4 – Blok je provozován na minimálním kontrolovaném výkonu.

C Dolní povolená poloha pro přechodový provozní režim při provozu s neúplným počtem hlavních cirkulačních čerpadel.

D Pásmo dovolených poloh pro dosahování MKV snižováním koncentrace kyseliny borité

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A: *Všechny HRK příslušející 1. - 5. skupině musí být v horních koncových polohách a poloha všech HRK, příslušejících 6. skupině, musí být v oblasti vymezené křivkami Obr. 145.. Rozsouhlas poloh jednotlivých HRK, příslušejících 6. skupině v povoleném pásmu musí být ≤ 25 cm.*

B: *Po přechodu do režimu R3 musí být, až do okamžiku zahájení činností za účelem vstupu do režimu R2, HRK příslušející 6., 5. a 4. skupině v dolní koncové poloze.*

Platnost limitní podmínky A je vztažena na režimy R1 nebo R2 při kritickém stavu reaktoru nebo na režimy R2 a R3 při dosahování minimálního kontrolovaného výkonu snižováním koncentrace kyseliny borité. Platnost limitní podmínky B je vztažena na režim R3 do dosažení odstavné koncentrace.

16.3.1.3 Bórová regulace

Agregáty normálního doplňování jsou součástí systému bórové regulace, který je dále tvořen doplňovacími a odpouštěcími trasami do primárního okruhu a čerpadly a nádržemi bórového koncentrátu. Systém bórové regulace není součástí bezpečnostních systémů. Je to systém související s bezpečností a slouží pro zajištění normálního a abnormálního provozu.

Na každém reaktorovém bloku jsou tři agregáty normálního doplňování, složené z předřadného čerpadla a z hlavního doplňovacího čerpadla. Plnění technologické funkce je dosaženo, pokud je doplňovací agregát schopen zvýšit parametry bórového koncentrátu tak, aby mohl být prostřednictvím doplňovacích tras dopraven v požadovaném množství do primárního okruhu. Agregáty normálního doplňován mají 200 % zálohu, pro plnění technologické funkce postačuje provozuschopnost jednoho ze tří doplňovacích agregátů.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Tři doplňovací agregáty TK20,40,60D01,D02 musí být provozuschopné.

Tato limitní podmínka je vztažena na režimy R1, R2, R3 a R4[56].

16.3.1.4 Potrubní trasy normálního doplňování

Na každém reaktorovém bloku jsou dvě trasy normálního doplňování TK10, 50 a dvě trasy odpouštění TE10, 50. Doplňovací trasy navazují na čerpadla normálního doplňování a jejich součástí je regulační ventil, upravující průtok chladiva do primárního okruhu v závislosti na hladině v kompenzátoru objemu. Další regulační ventily, řízené hladinou v kompenzátoru objemu, jsou součástí odpouštěcích tras. Součinností těchto regulačních ventilů je udržována konstantní hladina v kompenzátoru objemu a tedy stálý objem chladiva.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Trasa systému doplňování a odpouštění TK10 a TE10 nebo TK50 a TE50 musí být provozuschopná.

Tato limitní podmínka je vztažena na režimy R1, R2, R3 a R4.

[56] Při provádění pevnostní tlakové zkoušky primárního okruhu v R4, po dobu, kdy je tlak primárního okruhu > 12,25 MPa je povolena neprovozuschopnost všech tří doplňovacích agregátů.

16.3.1.5 Čerpadla a zásoba bórového koncentrátu

Čerpadla a nádrže bórového koncentrátu jsou součástí systému bórové regulace. Systém bórové regulace není součástí bezpečnostních systémů. Je to systém související s bezpečností a slouží pro zajištění normálního a abnormálního provozu. Na každém reaktorovém bloku jsou dvě zásobní nádrže bórového koncentrátu, tři čerpadla bórového koncentrátu a dvě výtlačné trasy. Pro splnění technologické funkce postačuje práce jednoho ze tří čerpadel.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A Tři čerpadla bórového koncentrátu TB20, 40, 60D01 musí být provozuschopná.

B Zásoba bórového koncentrátu v nádrži TB10B02 nebo TB50B02 musí splňovat následující požadavky:

- *Hladina bórového koncentrátu musí být ≥ 440 cm.*
- *Koncentrace bórového koncentrátu musí být ≥ 39 g/kg.*

Tyto limitní podmínky A i B jsou vztaženy na režimy R1, R2 a R3 do vytvoření odstavné koncentrace.

16.3.2 Fyzikální charakteristiky aktivní zóny reaktoru

Fyzikální charakteristiky aktivní zóny reaktoru zajišťují plnění bezpečnostního limitu integrity paliva (viz kap. 16.2.1).

16.3.2.1 Rozložení výkonu v aktivní zóně

Výkon palivového proutku i lokální lineární výkon proutku jsou omezeny především celkovým dovoleným výkonem reaktoru pro příslušný počet pracujících cirkulačních smyček (hlavních cirkulačních čerpadel). Rozložení výkonu po kazetách a po palivových proutcích je ovlivněno materiálovým složením proutků a kazet (především obohacením a vyhořením) a jejich rozmístěním v aktivní zóně. Na rozložení výkonu v aktivní zóně má vliv konkrétní stav aktivní zóny (teplota, tlak a průtok chladiva), poloha regulačních kazet, stacionární a nestacionární otrava, vyhoření a celá provozní historie souboru.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A Radiální koeficient nerovnoměrnosti vývinu energie v palivových proutcích K_r musí při provozu při výkonu $N_R \geq 35$ % N_{dov} splňovat podmínku:

- *$K_r \leq 1{,}68 \cdot (N_{dov} / N_R)$ pro kazety Gd-2M+ a kazety HRK typu Gd-2M+.*
- *$K_r \leq 1{,}61 \cdot (N_{dov} / N_R)$ pro kazety GD-2, Gd-2M a kazety HRK typu Gd-2M, G d-2+ i zdokonalené kazety HRK bez vyhořívajících absorbátorů (s delším sloupcem paliva v proutcích).*
- *$K_r \leq 1{,}55 \cdot (N_{dov} / N_R)$ pro kazety Gd-1 a kazety HRK staršího typu (s kratším sloupcem paliva). Při výkonu $N_R < 35$ % N_{dov} je ve výše uvedených nerovnostech v závorce podíl (1/0,35).*

B Lineární výkon palivových proutků q_l musí být ≤ $q_{l\,dov}$ dle křivky v diagramu, platné pro příslušný typ paliva.

C Lokální nárůst lineárního výkonu palivových proutků Δq_l musí být při přechodových procesech v reaktoru ≤ $\Delta q_{l\,dov}$ dle příslušné křivky v diagramu.

Dovolený výkon N_{dov} je závislý na počtu smyček s pracujícími hlavními cirkulačními čerpadly.

Platnost limitních podmínek A, B i C je vázána na režim R1.

16.3.2.2 Zavádění kladné reaktivity

Zavádění kladné reaktivity musí být takové, aby nárůst výkonu reaktoru splňoval kritéria pro řízení reaktivity aktivní zóny. Smyslem je tedy omezit periodu reaktoru na hodnotou, která

zajišťuje přijatelnou rychlost růstu jaderného výkonu ve stavech normálního provozu a umožňuje včasné odstavení reaktoru při vzniku události abnormálního provozu. Při zavádění kladné reaktivity je rovněž třeba Dodržet projektový, předem stanovený algoritmus vysouvání jednotlivých skupin regulačních kazet, který zajišťuje jednoznačně definované hodnoty zavádění kladné reaktivity a ve výkonových stavech zajišťuje rozložení výkonu vyhovující požadavkům návrhu palivové vsázky. Při dosahování kritičnosti reaktoru je třeba zajistit přijatelnou rychlost narůstání reaktivity a zajistit udržení reaktoru v kontrolovaném stavu (včetně nedosažení kritičnosti na okamžitých neutronech) a dále vyloučit nedovolený nárůst reaktivity a výkonu a tím chránit celé zařízení reaktoru i primárního okruhu proti nadměrnému zvýšení tlaku chladiva.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Perioda reaktoru musí být ≥ 60 s.*

B *Je zakázáno vnášet do reaktoru kladnou reaktivitu současnou kombinací dvou a více způsobů.*

C *HRK se musí zvedat po skupinách.*

D *Je zakázáno přivádět do primárního okruhu čistý kondenzát průtokem vyšším, než dovoleným.*

Platnost limitních podmínek A a C je vázána na režimy R1 a R2, limitní podmínky B na režimy R2 a R3 a limitní podmínky D na režim R2 ve spouštěcím intervalu reaktoru.

16.3.2.3 Bezpečnostní zásoba podkritičnosti

Zajištění podkritičnosti odstaveného reaktoru včetně abnormálního provozu a havarijních podmínek a zajištění samoregulačních vlastností působením záporných teplotních zpětných vazeb patří k základním požadavkům jaderné bezpečnosti. Funkčnost je zabezpečena dvěma procesy (limity) s těmito fyzikálními aspekty:

- Co nejrychleji, pádem HRK, uvést aktivní zónu do nejméně 2 % podkritičnosti odstaveného reaktoru, a to i v případě, kdy jedna nejúčinnější kazeta zůstane při pádu HRK zadržena v horní poloze a navíc střední teplota chladiva poklesne o 40 °C z nominální hodnoty.
- Zabezpečením samoregulovatelnosti aktivní zóny v režimu 1 a 2, což znamená, že reaktor snižuje reaktivitu při zvyšování teploty celé aktivní zóny nebo při zvyšování výkonu, v režimu 1 navíc také při zvyšování jenom teploty moderátoru.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Bezpečnostní zásoba podkritičnosti reaktoru musí být ≥ 2 % Δk/k.*

B *Teplotní koeficient reaktivity reaktoru od teploty moderátoru musí být záporný.*

C *Celkový teplotní koeficient reaktivity reaktoru od teploty moderátoru a paliva musí být záporný.*

Platnost limitní podmínky A je vázána na režimy R1, R2 a R3 (do ustavení odstavné koncentrace), platnost limitní podmínky B je vázána na režim R1 a limitní podmínky C na režim R2.

16.3.2.4 Teplota chladiva reaktoru

Teplotní režim v chladivu zásadně ovlivňuje odvod tepla z paliva a základní limity pro teplotu chladiva jsou stanoveny přímo výrobcem jadrného paliva. Jako základní bezpečnostní kritérium, založené v projektu reaktoru VVER440, je dodržení minimálně 25 °C rezervy do teploty varu chladiva v kazetě jako celku.

Vlastní limitní podmínky tedy zní takto:

A *Teplota chladiva na výstupu z kazet musí být:*

- *≤ 321 ℃ pro pracovní a HRK kazety Gd-2M+*

- *≤ 318 °C pro pracovní a HRK kazety, Gd-2M, Gd-2, Gd-2+*
- *≤ 317°C pro pracovní kazety Gd-1*
- *≤ 315 °C pro kazety HRK 1. generace (s kratším sloupcem paliva v proutcích)*

B Vstupní teplota chladiva do reaktoru musí být ≤ 270 °C.

C Výstupní teplota chladiva z reaktoru musí být ≤ 302 °C.

D Ohřevy na kazetách musí splňovat předepsané limity, uvedené v neutronově fyzikálních charakteristikách dané vsázky.

Platnost limitních podmínek A, B a C je vázána na režimy R1 a R2, platnost limitní podmínky D je vázána na režim R1.

16.3.2.5 Rezerva do varu

Přehřátí pokrytí palivových proutků se předchází provozováním paliva v režimu přestupu tepla v oblasti jednofázového proudění nebo bublinkového varu, kde je vysoký součinitel přestupu tepla a teplota pokrytí je mírně nad teplotou sytosti chladiva. Provozování paliva v režimu přestupu tepla nad oblastí bublinkového varu může vést k přehřátí pokrytí v důsledku DNB (krize varu prvního druhu) provázeného prudkým poklesem součinitele přestupu tepla. Takovým možnostem poškození paliva se předchází provozováním aktivní zóny v podmínkách převažujícího jednofázového proudění v celém objemu aktivní zóny, přičemž lokální vznik bublinkového varu je přípustný.

Vlastní limitní podmínka zní takto:

Kombinace ustáleného tlaku chladiva v primárním okruhu a střední teploty chladiva na výstupu z reaktoru musí zabezpečit rezervu do varu chladiva ≥ 25 °C.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3, R4 a R5.

16.3.2.6 Zvyšování výkonu reaktoru

Štěpným materiálem paliva VVER 440/213 je spékaný oxid uraničitý (UO_2). Je slisován do válcových tabletek s centrálním otvorem, který slouží k hromadění plynných produktů štěpení, kompenzuje objemové změny paliva a snižuje tepelné namáhání středu článku. U nového typu paliva (Gd-2M+) zaváženého, od roku 2014 již palivové tabletky centrální otvor nemají, jeho funkce je z hlediska zamezení uvolňování plynných produktů štěpení nahrazena změnou vnitřní struktury tabletky (větší zrna keramického UO_2) a z hlediska mechanického namáhání pokrytí zavedením čočkovitého vybrání čel tabletek. U palivových proutků s vyhořívajícím gadoliniovým absorbátorem je však centrální otvor stále zachován. Tablety jsou vloženy do hermetické povlakové trubky ze zirkoniové slitiny typu E110 s vnitřní pružinkou pro vyrovnání výškových dilatací uranových tablet při jejich vyhořívání. Mezera mezi tabletkou paliva a povlakovou trubkou slouží ke kompenzaci objemových změn. Během provozu se její velikost mění.

Konstrukce palivové tablety je provedena s ohledem na deformace palivové tablety v průběhu provozu paliva, které jsou průvodním jevem jeho vyhořívání. Omezení rychlosti zvyšování výkonu zamezuje nepřípustnému mechanickému namáhání materiálu jaderného paliva a pokrytí palivového proutku a je stanoveno jeho výrobcem.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Rychlost zvyšování výkonu reaktoru musí být ≤ 3 % N_{nom}/min.

Platnost limitní podmínky je vázána na režim R1.

16.3.2.7 Odvod zbytkového tepla z reaktoru

Zbytkový výkon aktivní zóny reaktoru klesá od odstavení reaktoru exponenciálně. Zbytkové teplo vzniká po utlumení štěpné reakce hlavně přeměnami transuranů a rozpadem nahromaděných produktů štěpení. Smyslem limitních podmínek je definovat bezpečné tepelné podmínky na smyčkách, účastnících se dochlazování, jejichž počet je obecně omezen hlavně z

technologických důvodů (údržba). Cílem je především zajistit dostatečnou rezervu do teploty sytosti, neboť lokální či objemový var by mohl narušit přirozenou cirkulaci vytvářením bublin v částech primárního okruhu a omezit odvod zbytkového tepla z odstavené aktivní zóny.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A Střední teplota chladiva ve smyčkách, dochlazujících reaktor musí být ≤ 57 °C.

B Ohřev chladiva ve smyčkách, dochlazujících reaktor musí být ≤ 35 °C.

C Ohřev chladiva ve smyčkách, dochlazujících reaktor musí být ≤ 30 °C.

Platnost limitní podmínky A je vázána na režim R6, limitní podmínky B na režimy R5 a R6 a limitní podmínky C na režimy R3 a R4.

16.3.2.8 Koncentrace kyseliny borité v chladivu reaktoru

V odstaveném stavu reaktoru musí být vytvořena odstavná koncentrace kyseliny borité, což je taková koncentrace, která je schopna zabránit nekontrolovanému náběhu na kritický stav. Podkritičnost aktivní zóny musí být udržována s dostatečnou rezervou.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A Při přechodu do režimu R3 s ustavením odstavné koncentrace musí být tato koncentrace dosažena v celém objemu primárního okruhu, účastnícím se dochlazování, nejpozději do zahájení zasouvání HRK.

B Po přechodu do režimu R3 zasunutím HRK musí být nejpozději do 24 hodin zahájeno vytváření odstavné koncentrace.

C Od ustavení odstavné koncentrace nesmí klesnout koncentrace H_3BO_3 pod tuto hodnotu a do primárního okruhu nesmí být doplňován roztok o koncentraci H_3BO_3 < odstavná koncentrace[57].

D V celém objemu primárního okruhu, účastnícím se dochlazování, musí být koncentrace H_3BO_3 ≥ odstavná koncentrace pro výměnu paliva.

Platnost limitní podmínky A a B je vázána na režim R3, limitní podmínky C a režimy R3, R4, R5 a R6 a limitní podmínky D na režim R6 a výměnu paliva.

16.3.3 Přístrojové vybavení

Plnění bezpečnostních funkce je zajištěno mimo jiné i tehdy, pokud je systém RTS schopen zajistit bezpečné odstavení reaktoru po dosažení hodnot nastavení ochranných systémů a pokud je systém ESFAS schopen uvést do činnosti zařízení bezpečnostních systémů po dosažení hodnot nastavení ochranných systémů.

16.3.3.1 Systém kontroly a řízení reaktoru

Funkce systému rychlého odstavení reaktoru (RTS) zajišťují v případě výskytu PIU, identifikované na základě překročení hodnot vybraných jaderných a technologických parametrů, požadovanou odezvu. Požadovanou odezvou je rychlé odstavení reaktoru, tedy iniciace pádu kazet do aktivní zóny a tím zavedení dostatečné podkritičnosti k ukončení štěpné reakce. RTS musí automaticky vyhodnotit podmínky, vyžadující rychlé odstavení reaktoru, a způsobit gravitační pád HRK odpojením napájení jejich pohonů prostřednictvím vypnutí silových vypínačů RTS. Rychlé odstavení reaktoru je provedeno, pokud nejméně dvě ze tří vzájemně redundantních funkcí (realizovaných nezávisle ve třech divizích) vyhodnotí podmínky, vyžadující rychlé odstavení reaktoru.

[57] Při plánovaném přechodu do R2 je povoleno zahájit snižování koncentrace H_3BO_3 v primárním okruhu pod hodnotu odstavné koncentrace doplňováním čistého kondenzátu již v R3. Pro dekontaminaci je povoleno používat čistý kondenzát v množství, které nesníží koncentraci H_3BO_3 v primárním okruhu pod hodnotu odstavné koncentrace.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Systém rychlého odstavení reaktoru RTS a systém zajištění bezpečnosti bloku ESFAS musí být provozuschopný.*

B *Systém zajištění bezpečnosti bloku ESFAS musí být provozuschopný v rozsahu funkcí „Přetlak v boxu parogenerátorů +10 kPa“ a „Přetlak v boxu PG +15 kPa“.*

Platnost limitní podmínky A je vázána na režimy R1, R2 a R3. Platnost limitní podmínky B je vázána na režim R4.

16.3.3.2 Přístroje kontroly celistvosti bariér

Přístroje kontroly celistvosti bariér umožňují vyhodnocování plnění bezpečnostní funkce vybraných technologických systémů - integritu první a druhé bariéry (jaderného paliva) a integritu třetí bariéry (primárního okruhu). Pokud je některý z přístrojů kontroly celistvosti bariér v poruše, má JE Dukovany možnost provádět předepsané kontroly vyhodnocováním odebraných vzorků a měřením s využitím přenosných přístrojů. Tento náhradní způsob je z hlediska získání požadované informace o hodnotě měřené veličiny plnohodnotnou náhradou za standardní měření prováděné přístroji kontroly celistvosti bariér. Nezajišťuje však kontinuální informaci o změně hodnoty měřené veličiny.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Gamaspektrometrické měření aktivity radionuklidů v chladivu primárního okruhu nebo měření sumární aktivity gama radionuklidů v chladivu primárního okruhu musí být provozuschopné.*

B *Měření aktivity vzdušniny v neobslužných prostorech hermetické obálky musí být provozuschopné.*

C *Měření objemové aktivity gama vody sekundárního okruhu v parogenerátorech musí být provozuschopné.*

D *Měření objemové aktivity kapalin topné páry odparek TD a TR musí být provozuschopné.*

E *Měření sumární objemové aktivity gama chladící vody musí být provozuschopné.*

Platnost limitních podmínek A a B je vázána na režimy R1 a R2, limitní podmínky C na režimy R1, R2, R3 a R4, limitní podmínky D na provoz příslušné odparky, limitní podmínky E na provoz příslušného systému technické vody důležité.

16.3.3.3 Systémy monitorování reaktoru

Informace o plnění bezpečnostních funkcí je z fyzikálního hlediska zajištěna jednak dostatečným množstvím přímo měřených hodnot parametrů aktivní zóny, jednak výpočtových nebo rekonstruovaných hodnot limitovaných provozních parametrů aktivní zóny při provozu reaktoru. Technicky jsou informace zajištěny průchodem signálu od čidel vnitroreaktorových měření do systému IN-CORE a odtud do hlavní pracovní stanice SCORPI.O k dalšímu zpracování.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Systém monitorování reaktoru SCORPIO musí splňovat následující podmínky:*

- *Na alespoň jednom výstupním za řízení SCORPIO jsou pro každý typ paliva v aktivní zóně k dispozici věrohodné hodnoty:*
  - o *Maxima radiálních koeficientů nerovnoměrnosti vývinu energie v palivových proutcích K_r.*
  - o *Lineárních výkonů palivových proutků s nejnižší rezervou do limitní hodnoty.*
  - o *Maximálních teplot chladiva na výstupu z palivových kazet.*
- *Systém nevykazuje příznaky neprovozuschopnosti některého z modulů 3DREC, CHECK.*
- *Počet neprovozuschopných vstupů nepřekračuje limitní počty dle příslušné tabulky.*

B Systém IN-CORE musí splňovat následující podmínky:

- *Na alespoň jednom výstupním za řízení IN-CORE jsou pro každý typ paliva v aktivní zóně k dispozici věrohodné hodnoty:*
  - *Maximálních teplot chladiva na výstupu z palivových kazet.*
  - *Maximálních ohřevů na jednotlivých skupinách kazet (vnitřních a periferních).*
  - *Vstupní teplota chladiva do reaktoru.*
- *Počet neprovozuschopných vstupů nepřekračuje limitní počty dle příslušné tabulky.*

C Systém monitorování reaktoru SCORPIO musí být schopen provést výpočet bezpečnostní zásoby podkritičnosti.

Platnost limitních podmínek A a B je vztažena na režim R1, limitní podmínky C pak na režimy R1, R2 a R3 do dosažení odstavné koncentrace.

16.3.3.4 Systém měření neutronového toku v nízkém pásmu

Funkce měření neutronového toku v nízkém pásmu systému EX-CORE zajišťují operativnímu personálu možnost monitorování stavu aktivní zóny v podkritických stavech, během případných neočekávaných změn reaktivity (k nimž může dojít například v důsledku chybné funkce systému doplňování a bórové regulace, vedoucí ke snížení koncentrace kyseliny borité v chladivu) a v průběhu výměny paliva, kdy probíhají změny konfigurace aktivní zóny (manipulace s palivem).

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Čtyři měřicí kanály neutronového toku v nízkém pásmu musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R3, R4, R5 a R6.

16.3.3.5 Protipožární systém

Elektrická požární signalizace EPS je systém, který akusticky a opticky signalizuje vzniklé ohnisko požáru na místo, kde je trvale přítomna obsluha. Zařízení elektrické požární signalizace je soubor hlásičů požáru, vedení, ústředen a doplňujícího zařízení.

Vlastní limitní podmínka pak zní:

Požární ústředny EPS CZ-10, CZ1-02, CI 1145 musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4.

16.3.3.6 Systém pohavarijního monitorování (PAMS)

Systém pohavarijního monitorování PAMS je zobrazovací systém, který poskytuje informace o parametrech elektrárny, vyžadované operátorem na blokové dozorně během havarijních situací k tomu, aby provedl ruční zásahy ke zmírnění důsledků PIU na technologii po automatickém zásahu ochran nebo zajistil udržení bloku v bezpečně odstaveném stavu. Systém dále slouží k vyhodnocení integrity bariér proti úniku RA látek a velikost jakéhokoli úniku RA látek.

Vlastní limitní podmínka zní takto:

Měřící a sdělovací kanály systému pohavarijního monitorování PAMS 1 musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4.

16.3.4 Chladivo primárního okruhu

Chladivo primárního okruhu je primárním nositelem tepelné energie z aktivní zóny reaktoru. Prostřednictvím jeho základních teplotechnických a chemických parametrů jsou ovlivněny důležité komponenty primárního okruhu.

16.3.4.1 Limity tlakově-teplotní závislosti primárního okruhu

Všechny komponenty primárního okruhu jsou navrženy tak, aby odolaly důsledkům cyklických zatížení vyvolaných změnami tlaku a teploty chladiva primárního okruhu. Tato zatížení vznikají při spouštění bloku (náhřevu primárního okruhu) a odstavování bloku (vychlazování primárního okruhu), při provádění tlakových zkoušek, při výkonových přechodech a v režimech s rychlým odstavením reaktoru. Při provozování bloku nesmí v primárním okruhu nastat taková kombinace tlaku a teploty, při které by mohlo dojít k iniciaci náhlého lomu z výpočtové trhliny, postulované ve stěně tlakové nádoby reaktoru.

Limity tlakově-teplotní závislosti definují přípustnou oblast tlaku primárního okruhu při konstantní teplotě primárního okruhu (stabilizované stavy bez teplotních změn, nebo s malými jednorázovými teplotními změnami) a pro provádění tlakových zkoušek na těsnost a pevnost primárního okruhu, s ponecháním dostatečné rezervy do křehkého lomu reaktorové nádoby. Dále určují povolené rychlosti ohřevu a ochlazení chladiva primárního okruhu.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Následující limity tlakově-teplotní závislosti musí být dodrženy:

- *Limitní křivka natlakování za studena nesmí být překročena[58].*
- *Limitní křivky pro tlakové zkoušky na těsnost a pevnost nesmí být překročeny.*
- *Rychlost ohřevu chladiva primárního okruhu musí být ≤ 20 °C/hod •*
- *Rychlost ochlazení chladiva primárního okruhu musí být ≤ 20 °C/hod v režimu R5 a ≤ 30 °C/hod v ostatních režimech.*

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3, R4 a R5.

16.3.4.2 Chemický režim chladiva primárního okruhu

Chemický režim chladiva primárního okruhu musí být takový, aby dostatečně zabraňoval tvorbě korozních produktů, jejich následné aktivaci v primárním okruhu a jejich následnému usazování na površích palivových článků. Limitní podmínka pro chemický režim primárního okruhu slouží pro zabezpečení správné funkce 2. a 3. bariéry proti úniku RA látek, tedy zajištění integrity pokrytí palivových článků a zajištění integrity potrubí a komponent primárního okruhu.

Dominantním rysem chemického režimu chladiva primárního okruhu je použití kyseliny borité ke kompenzaci reaktivity a hluboké odkysličení chladiva primárního okruhu, umožněné tlakovodním systémem. Acidita kyseliny borité je kompenzována přídavkem silné alkálie a radiolytická tvorba kyslíku je potlačena udržováním zvýšené koncentrace vodíku.

Vlastní limitní podmínky pak zní následovně:

A Hodnota pH300 musí být ≥ 6,9 a ≤ 7,5.

B Koncentrace vodíku H_2 musí být ≤ 50 Nml/kg.

C Koncentrace kyslíku O_2 musí být ≤ 10 µg/kg.

D Koncentrace kyslíku O_2 musí být ≤ 20 µg/kg.

E Koncentrace chloridů Cl musí být ≤ 100 µg/kg.

F Koncentrace chloridů Cl musí být ≤ 150 µg/kg.

Platnost limitní podmínky A a B je vázána na režim R1, limitní podmínky C na režimy R1, R2 a R3, limitní podmínky D na režim R4 (při teplotě v primárním okruhu > 120 °C), limitní podmínky E v režimech R1, R2, R3 a R4 a limitní podmínky F v režimech R5, R6 a R7.

[58] Limitní křivka natlakování za studena neplatí při provádění tlakové zkoušky na těsnost a pevnost.

16.3.4.3 Aktivita chladiva primárního okruhu

Limitní hodnoty objemové aktivity primárního chladiva vycházejí z údajů výrobce paliva a jsou použity jako vstupní údaje pro řešení radiologických důsledků od výpustí normálního provozu a při únicích za abnormálního provozu nebo na havarijních podmínek. Na JE Dukovany je použit systém čtyř fyzických bariér proti úniku RA látek do životního prostředí. Limitní podmínka na měrnou aktivitu chladiva primárního okruhu slouží pro kontrolu druhé bariéry, tedy pokrytí paliva.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Celková objemová aktivita AI směsi izotopů jódu (^{131}I, ^{132}I, ^{133}I, ^{134}I, ^{135}I) v chladivu primárního okruhu musí být ≤ 3,7 · 10^{10} Bq/m^3.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1 a R2.

16.3.4.4 Úniky chladiva z primárního okruhu

Primární okruh tvoří třetí ochrannou bariéru proti úniku RA látek do životního prostředí. Ideálně těsné bariéry by zcela zamezily průniku radioaktivních látek, vzniklých provozováním jaderného zařízení do životního prostředí. Žádná z bariér však není a nemůže být absolutně těsná. V případě třetí bariéry, tedy primárního okruhu, se uvažuje s velikostí organizovaných úniků okolo 5 m^3/hod a s velikostí neorganizovaných úniků 0,2 m^3/hod. Neorganizované úniky jsou ty úniky, které nejsou zavedeny projektovými trasami do technologického procesu. Tyto úniky jsou na rozdíl od organizovaných úniků nahodilé a jejich velikost není přímo měřitelná, limituje se proto aktivita v hermetických prostorách. Meziokruhovou netěsnost v parogenerátoru lze spočítat z měření aktivity ^{16}N na parovodech.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Neorganizovaný únik přes tlakové rozhraní primárního okruhu nesmí v neobslužných prostorech hermetické obálky způsobit aktivitu vzácných plynů 2 × 10^8 Bq/m^3 nebo aktivitu aerosolů 0,8 × 10^8 Bq/m^3.*

B *Únik z primárního okruhu do sekundární strany každého ze šesti parogenerátorů musí být ≤ 3 litry/hodinu.*

Platnost limitní podmínky A je vázána na režimy R1 a R2, limitní podmínky B na režimy R1, R2, R3, R4 a R5.

16.3.5 Hlavní technologické okruhy

Hlavní technologické okruhy slouží k zajištění základních bezpečnostních i provozních vlastností jaderné elektrárny.

16.3.5.1 Provoz smyček primárního okruhu

Chladivo reaktoru cirkuluje šesti smyčkami primárního okruhu, které jsou symetricky připojeny paralelně k nádobě reaktoru. Každá ze smyček obsahuje parogenerátor, hlavní cirkulační čerpadlo a hlavní uzavírací armatury na studené a horké větvi smyčky. V nádobě reaktoru je umístěno palivo jako zdroj tepelné energie. Parogenerátory slouží k přenosu tepla do sekundárního okruhu, nebo pro náhřev primárního okruhu po odstávce. Hlavní cirkulační čerpadlo zajišťuje průtok chladiva reaktorem a parogenerátorem rychlostí, zajišťující dostatečný odvod tepla a ochranu paliva před poškozením. Nucená cirkulace chladiva navíc zajišťuje míchání chladiva a tím možnost řízení obsahu kyseliny borité a chemického složení chladiva primárního okruhu.

Projekt JE Dukovany umožňuje výkonový provoz bloku při nižším než plném počtu smyček v provozu. Pokud je v provozu méně jak šest smyček, je nutné upravit v závislosti na tomto počtu výkon reaktoru. Minimální povolený počet provozovaných smyček při výkonovém provozu jsou tři.

Vlastní limitní podmínky pak zní následovně:

A *Minimálně tři smyčky primárního okruhu musí být v provozu.*

B Musí být v provozu dostatečný počet smyček primárního okruhu pro plnění limitní podmínky odvodu zbytkového tepla z reaktoru a jedna smyčka primárního okruhu musí být v rezervě.

C Při provozu tří hlavních cirkulačních čerpadel je povolená kombinace HCČ 1, 3, 5 nebo 2, 4, 6.

D Je zakázán náběh hlavního cirkulačního čerpadla nebo připojení smyčky otevřením obou hlavních uzavíracích armatur, pokud je teplota horké větve připojované smyčky nižší o více než 15 °C než nejnižší z teplot studených větví smyček, připojených k reaktoru.

Platnost limitní podmínky A je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4. Platnost limitní podmínky B je vázána na režimy R5 a R6 (při odvodu zbytkového tepla přirozenou cirkulací chladiva), limitní podmínky C na režimy R1, R2, R3, R4 a R5 a limitní podmínky D na režimy R1, R2 a R3 (do vytvoření odstavné koncentrace).

16.3.5.2 Těsnění hlavní dělicí roviny reaktoru

Pro utěsnění hlavní dělicí roviny reaktoru jsou použity čtyři niklové těsnící kroužky, usazené ve V-drážkách příruby tlakové nádoby s tím, že těsnící kroužky 1. a 2. jsou přitlačovány víkem a jejich stlačení je vyvozeno přímo předepnutím a utažením hlavních svorníků. Těsnící kroužky 3. a 4. jsou přitlačovány přítlačným kroužkem anuloidu a jejich stlačení je také vyvozeno předepnutím a utažením pomocných svorníků pomocí dotlačovacích šroubů. Prvé dva kroužky zajišťují těsnost primárního okruhu. Těsnící kroužek číslo 3 tvoří hranici pro umožnění kontroly těsnosti prvých dvou těsnících kroužků během zkoušek i provozu. Kontrola se realizuje měřením tlaku v dutině anuloidu (prostor mezi 2. a 3. těsnícím kroužkem). Signalizace vzrůstu tlaku v anuloidu je vyvedena na blokovou dozornu. Těsnící kroužek číslo 4 je instalován z důvodu kontroly 3. těsnícího kroužku v případě, že by se vyskytla netěsnost při kontrole v prostoru anuloidu po montáži reaktoru.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Těsnící kroužky hlavní dělící roviny reaktoru musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3, R4 a R5.

16.3.5.3 Kompenzátor objemu

Kompenzátor objemu, který je základní částí systému kompenzace objemu, je ve spodní části vodního objemu opatřen hrdly se zabudovanými elektrickými topnými tělesy. Celkový instalovaný výkon těchto elektroohříváků je 1 620 kW. Vodní prostor kompenzátoru je připojen přes rozdělovací T-kus dvěma potrubními větvemi na neoddělitelnou část horké větve cirkulační smyčky a tím i na reaktor. Na sprchový systém v parním prostoru kompenzátoru objemu je potrubím přes regulační a uzavírací armatury přivedena voda ze studené větve cirkulačního potrubí. V ustáleném stavu při parním polštáři v kompenzátoru objemu je tlak v kompenzátoru objemu a tedy v celém primárním okruhu a reaktoru, udržován regulovaným ohřevem vody. Při změnách tepelných poměrů, a v důsledku toho i změnách objemu vody v primárním okruhu a tlaku, se tlakové výkyvy regulují zvýšením ohřevu chladiva v kompenzátoru objemu, nebo vstřikováním relativně chladného média ze studené větve cirkulační smyčky do parního prostoru kompenzátoru objemu.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A Tlak chladiva v kompenzátoru objemu musí být ≥ 11,96 MPa.

B Tlak chladiva v kompenzátoru objemu musí být ≤ 12,56 MPa.

C Hladina chladiva L_{KOcelk}. s korekcí na teplotu chladiva v kompenzátoru objemu musí být:

- *v režimech R1 a R2 ≥ 2,56 m a ≤ 7,06 m.*
- *v režimech R3 a R4 ≥ 2,56 m a ≤ 8,06 m.*

D Rozdíl teplot DT mezi teplotou chladiva v kompenzátoru objemu a teplotou horkých větví smyček musí být ≤ 80 ℃[59].

E Změny parametrů kompenzátoru objemu musí splňovat:

- *Rychlost ohřevu chladiva v kompenzátoru objemu musí být ≤ 40 °C/hod.*
- *Rychlost ochlazení chladiva v kompenzátoru objemu musí být ≤ 30 °C/hod.*
- *Rychlost změny tlaku chladiva v kompenzátoru objemu musí být ≤ 2,94 MPa/min.*

Platnost limitní podmínky A je vázána na režim R1, limitních podmínek B, C a D na režimy R1, R2, R3 a R4 a limitní podmínky E na režimy R1, R2, R3, R4 a R5.

16.3.5.4 Pojistné ventily kompenzátoru objemu

Pojistné ventily kompenzátoru objemu jsou součástí systému kompenzace objemu. Tento systém patří mezi nejdůležitější systémy ochrany primárního okruhu proti změnám tlaku. Do tohoto systému patří odlehčovací ventil, blok pojistných ventilů a barbotážní nádrž. Pojistné ventily kompenzátoru objemu plní pojistnou funkci pro celý primární okruh a zabraňují nárůstu tlaku v primárním okruhu nad hodnotu bezpečnostního limitu.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Oba hlavní pojistné ventily kompenzátoru objemu musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4.

16.3.5.5 Těsnění dělicích rovin kompenzátoru objemu a hlavních cirkulačních čerpadel

Těsnění průlezu kompenzátoru objemu se zajišťuje těsněním na bázi grafitu. Mezi těsnícími kroužky je proveden vývrt s napojením na impulsní potrubí kontroly těsnosti vnitřního prostoru přírubového spoje. Signalizace o zvýšení tlaku v meziprostoru je vyvedena na blokovou dozornu.

Těsnost dělící roviny mezi tělesem hlavního cirkulačního čerpadla a přítlačnou přírubou se zajišťuje jedním kovovým těsněním, nebo těsněním na bázi grafitu a pomocným těsněním tvořeným azbestovou šňůrou. Mezi těmito těsnícími komponenty je proveden vývrt s napojením na impulsní potrubí kontroly těsnosti tohoto přírubového spoje.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A Těsnící kroužky dělící roviny průlezu kompenzátoru objemu musí být provozuschopné.

B Těsnící kroužek hlavní dělící roviny hlavního cirkulačního čerpadla musí být provozuschopný.

Platnosti limitních podmínek A a B jsou vázány na režimy R1, R2, R3, R4 a R5.

16.3.5.6 Teplota a tlak vody parogenerátoru

Požadované parametry pro vodu na primární i sekundární straně parogenerátoru zajišťují řádnou funkci parogenerátoru a splnění požadavků bezpečnosti provozu z hlediska daných projektových kritérií. Limitní hodnoty tlaku a teploty kovu parogenerátoru splňují požadavky na tepelné namáhání, pevnostní napětí a křehkost jednotlivých materiálů parogenerátoru, stanovené projektem a výrobcem parních generátorů. Zabezpečují, že tlakové napětí v parogenerátoru nepřekročí maximální dovolené limity napětí při houževnatém lomu a jsou v souladu s předpoklady, zadanými a zdůvodněnými výrobcem parogenerátoru.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A Rozdíl teplot mezi teplotou napájecí vody a chladiva primárního okruhu na vstupu do parogenerátoru a teplotou kovu parogenerátoru musí být ≤ 60 °C.

[59] V průběhu náhřevu primárního okruhu v režimech R2, R3, R4 musí být rozdíl teplot mezi teplotou chladiva v kompenzátoru objemu a teplotou horkých větví smyček ≤ 150 ℃.

B Tlak na sekundární straně parogenerátoru musí být ≤ 2,0 MPa.

Platnost limitní podmínky A je vázána na režimy R4, R5, R6 a R7 při plnění parogenerátoru vodou. Platnost limitní podmínky B je vázána na režimy R4, R5, R6 a R7 při teplotě kovu tělesa parogenerátoru < 70 °C.

16.3.5.7 Impulzní pojistné ventily parogenerátoru

Impulzní pojistné ventily parogenerátoru jsou umístěny na neoddělitelné části parní strany parogenerátoru a slouží pro ochranu integrity jeho tělesa a tím nepřímo pro ochranu integrity hlavního tlakového okruhu chladiva reaktoru. Integrita tělesa parogenerátoru může být narušena zvýšeným tlakem v parogenerátoru, způsobeným poruchami odvodu tepla z parogenerátoru, například při nežádoucím zavření rychločinné armatury na parovodu. Každému parogenerátoru přísluší tři impulzní pojistné ventily. Jeden ze tří impulzních pojistných ventilů otevírá při nižším tlaku v parogenerátoru, druhé a třetí impulzní ventily otevírají při vyšším tlaku v parogenerátoru. Dimenze všech tří impulzních pojistných ventilů každého parogenerátoru je taková, že všechny tři plně otevřené ventily odvedou plný tepelný výkon parogenerátoru.

Vlastní limitní podmínky pak zní následovně:

A Tři impulzní pojistné ventily příslušného parogenerátoru musí být provozuschopné.

B Dva impulzní pojistné ventily příslušného parogenerátoru musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky A je vázána na režim R1, limitní podmínky B na režimy R2, R3 a R4.

16.3.5.8 Rychločinné uzavírací armatury na parovodech a hlavním parním kolektoru

Uzavřením rychločinných armatur dojde k eliminaci důsledků nehod, spojených s parními úniky z parovodů a hlavního parního kolektoru takového rozsahu, kdy působí signál ESFAS. Při těchto únicích hrozí teplotní a tlakové namáhání kontejnmentu, namáhání tlakové nádoby reaktoru, vnos kladné reaktivity do aktivní zóny v důsledku vychlazování parogenerátoru a celého primárního okruhu a nekontrolovaný únik páry do prostorů kolem parovodů a hlavního parního kolektoru. K rozdělení hlavního parního kolektoru postačuje uzavření jedné ze tří sekčních rychločinných armatur, zbylé dvě slouží jako 200% záloha.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

Otevřené rychločinné armatury na parovodech a na hlavním parním kolektoru musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2 a R3.

16.3.5.9 Systém havarijního a superhavarijního napájení parních generátorů

Systém havarijního a superhavarijního napájení parogenerátorů je na každém bloku složený ze dvou havarijních napájecích čerpadel (tzv. superhavarijní napájecí čerpadla) a dvou pomocných napájecích čerpadel (tzv. havarijní napájecí čerpadla) a příslušných tras včetně armatur a regulačních ventilů. Superhavarijní napájecí čerpadla jsou sáním připojena k zásobním nádržím demivody 1 000 m^3 a přes své výtlačné trasy a superhavarijní napájecí hlavy mohou podat demivodu do parogenerátorů prostřednictvím kolektoru systému havarijního napájení, umístěného v parním prostoru parogenerátoru. Havarijní (pomocná) napájecí čerpadla jsou sáním připojeny k sacímu kolektoru hlavních napájecích čerpadel a přes své výtlačné trasy do hlavního napájecího kolektoru. Mohou tak dodávat napájecí vodu z napájecí nádrže přes napájecí hlavy do parogenerátorů prostřednictvím horního rozvodu napájecí vody v parogenerátoru.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Systém havarijního a superhavarijního napájení parogenerátorů musí být provozuschopný.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2 a R3.

16.3.5.10 Těsnění primárních kolektorů parních generátorů

Primární kolektory parogenerátoru slouží pro připojení horké a studené větve smyčky primárního okruhu. Oba kolektory jsou pak propojeny trubkami, tvořícími teplosměnnou plochu parogenerátoru. Ve své vrchní části jsou kolektory zesíleny a opatřeny průlezem s přírubovým spojem pro víka. Jako těsnění tohoto přírubového spoje se používá dvojice kroužků, které se vkládají do drážek. K vyvození potřebné těsnicí síly slouží 20 svorníků. Pro kontrolu těsnosti přírubového spoje slouží vývrt v meziprostoru, vytvořeným těsnícími kroužky, na který navazuje potrubí, které prochází vnitřkem kolektoru a vychází z jeho spodní části na nátrubek kontroly těsnosti. Signalizace vzrůstu tlaku v meziprostoru těsnění primárních kolektorů je vyvedena na blokovou dozornu.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Těsnící kroužky primárního kolektoru parogenerátoru musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2 a R3.

16.3.5.11 Měrná aktivita vody sekundárního okruhu

Měrná aktivita vody sekundárního okruhu je způsobena úniky z primárního okruhu přes teplosměnnou plochu parogenerátorů. Za podmínek normálního provozu na konstantních parametrech je aktivita tvořena převážně izotopy ^{24}Na, ^{42}K, v menší míře pak ostatními izotopy štěpných produktů, stejně jako aktivovanými korozními produkty. Měrná aktivita vody v parogenerátoru je indikátorem těsnosti třetí bariéry proti úniku RA látek do okolí – teplosměnné plochy parogenerátoru.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Sumární měrná aktivita gama všech nuklidů vody sekundárního okruhu v parogenerátorech (součet aktivit vody sekundárního okruhu ve všech šesti) musí být $\leq 4 \cdot 10^4$ *Bq/kg.*

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4.

16.3.5.12 Chemické složení vody sekundárního okruhu

Chemické složení vody sekundárního okruhu musí být takové, aby dostatečně minimalizovalo korozní a erozní poškození teplosměnných trubek parogenerátorů a tvorbu nánosů na teplosměnných trubkách parogenerátorů a možnost koroze pod nánosy.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A Katexovaná vodivost odluhované vody musí být ≤ 5 µS/cm.

B Koncentrace kyslíku v napájecí vodě do parogenerátorů musí být ≤ 10 µg/kg

Platnost limitní podmínky je vázána na režim R1[60].

16.3.5.13 Hladina, teplota a koncentrace kyseliny borité v bazénu skladování vyhořelého paliva

Vyhořelé palivové kazety jsou po vyvezení z reaktoru uloženy v bazénu skladování do doby, kdy tepelný výkon a radiace poklesnou na úroveň, při které je lze odvážet na jiné skladovací místo. Palivové kazety jsou v bazénu skladování uloženy ve spodním a horním roštu, přičemž spodní rošt je tvořen kompaktní skladovací mříží. V horním roštu je uloženo

[60] Platí pro výkon reaktoru > 30% N_{nom} a při změně výkonové hladiny po ustálení chemických parametrů, tedy po 72 hodinách.

palivo při nouzovém vyvezení paliva z aktivní zóny, respektive při revizi tlakové nádoby reaktoru.

Skladované palivo musí být zaplavené vodou s požadovanou koncentrací kyseliny borité a s požadovanou teplotou. Voda ochlazuje povrch palivových kazet a slouží pro zachycení možného uvolnění jódu z porušených palivových kazet a pro ochranu personálu před radiačním zářením z paliva. Dodržením teploty vody v bazénu skladování je zajištěn dostatečný odvod tepla z povrchu palivových kazet a minimalizován úniku aerosolů. Dodržením koncentrace kyseliny borité je zajištěna absorpce tepelných neutronů a tedy hluboká podkritičnost souboru.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A Hladina vody v bazénu skladování musí být ≥ než:

- *20,7 m Probíhá výměna paliva nebo manipulace s palivovými kazetami.*
- *18,5 m V bazénu skladování je alespoň jedna vyhořelá palivová kazeta v horním roštu.*
- *14,45 m V bazénu skladování je alespoň jedna vyhořelá palivová kazeta.*

B Teplota vody v bazénu skladování musí být ≤ 60 °C.

C Koncentrace H_3BO_3 ve vodě bazénu skladování musí být ≥ 12 g/kg.

Platnost limitních podmínek je vázána na situaci, kdy je v bazénu skladování alespoň jedna vyhořelá palivová kazeta.

16.3.5.14 Systém chlazení bazénu skladování

K odvodu zbytkového výkonu z vyhořelých palivových kazet, uskladněných v bazénu skladování, slouží systém TG. Je projektován odděleně pro každý reaktorový blok a skládá se ze dvou navzájem nezávislých chladících okruhů, z hlediska výkonu rovnocenných. Každý okruh je projektován na odvedení tepelného výkonu vyhořelých palivových kazet a k udržení teploty v bazénu skladování okolo 50 °C. Každý okruh se skládá z čerpadla, tepelného výměníku zařazeného na sání čerpadla a chlazeného technickou vodou důležitou, spojovacího potrubí a armatur.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Dva chladící okruhy bazénu skladování musí být provozuschopné.

Platnost limitních podmínek je vázána na situaci, kdy je v bazénu skladování alespoň jedna vyhořelá palivová kazeta.

16.3.6 Bezpečnostní systémy

Bezpečnostní systémy slouží ke kompenzaci ztrát primárního chladiva a dodávku kyseliny borité jako prostředku pro zajištění podkritičnosti aktivní zóny v případech havárií, spojených se ztrátou chladiva (LOCA), nebo s rychlým vychlazováním primárního okruhu (velké úniky páry ze sekundárního okruhu).

16.3.6.1 Hydroakumulátory

Hydroakumulátory jsou součástí pasivního bezpečnostního systému. Jsou to tlakové zásobníky roztoku kyseliny borité, oddělené od reaktoru zpětnou klapkou. Hnacím plynem je stlačený dusík. Zajišťují chlazení aktivní zóny při poklesu tlaku v primárním okruhu pod tlak v hydroakumulátorech (3,1 – 3,7 MPa), když nízkotlaká čerpadla TH se ještě nemohou z důvodu vyššího tlaku v primárním okruhu prosadit a vysokotlaká čerpadla TJ svým průtokem nepostačují ke stabilizaci tlaku v primárním okruhu.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Čtyři hydroakumulátory musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2 a R3 (při tlaku v primárním okruhu > 6,5 MPa).

16.3.6.2 Barbotážní systém

Barbotážní systém patří mezi pasívní lokalizační systémy. Činnost tohoto systému spočívá ve schopnosti zachytit průvodní dynamické účinky proudu parovzdušné směsi, pohltit podstatnou část uvolňované tepelné energie, samočinně potlačit nárůst tlaku v hermetických prostorech a lokalizovat nekondenzovatelné plyny v záchytných komorách.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Barbotážní systém musí být provozuschopný.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2 a R3.

16.3.6.3 Systém havarijního chlazení aktivní zóny

Aktivní systém havarijního chlazení aktivní zóny reaktoru je určen pro dodávku bórového koncentrátu do reaktoru v případě různých typů nehod. V počáteční fázi nehody zajišťuje zalití aktivní zóny reaktoru, spojeném se vnosem záporné reaktivity, a poté, v další fázi nehody, odvod zbytkového tepla z aktivní zóny. Na každém bloku jsou tři nezávislé divize aktivního systému havarijního chlazení aktivní zóny. Systém je v činnosti jen při mimořádných stavech reaktoru. Za nominálního provozu reaktorového bloku je systém v pohotovostním režimu, připravený zasáhnout v případě iniciace od signálů ESFAS, popřípadě při požadavku operativního personálu blokové dozorny dle příslušných předpisů. Každá divize aktivního systému havarijního chlazení aktivní zóny reaktoru je složena z vysokotlakého (TJ) a nízkotlakého (TH) okruhu havarijního chlazení aktivní zóny.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A Tři divize systému havarijního chlazení aktivní zóny musí být provozuschopné.

B Jedna divize systému havarijního chlazení aktivní zóny musí být provozuschopná v rozsahu nízkotlakého havarijního chlazení.

C Jedna divize systému havarijního chlazení aktivní zóny musí být provozuschopná v rozsahu vysokotlakého havarijního chlazení.

Platnost limitní podmínky A je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4, limitní podmínky B na režimy R5 a R6 a limitní podmínky C na režim R6 při demontovaném horním bloku reaktoru.

16.3.6.4 Systém technické vody důležité

Systém technické vody důležité je podpůrný systém, určený k odvodu tepla ze zařízení bezpečnostních systémů a systémů souvisejících s bezpečností do koncového jímače tepla. Protože se společně s aktivními systémy havarijního chlazení aktivní zóny podílí na likvidaci havarijních podmínek, je klasifikován jako podpůrný bezpečnostní systém. Kromě funkce bezpečnostního systému zastává také funkci zařízení normálního provozu. Jeho provozuschopnost je nezbytnou podmínkou pro trvalý normální provoz bloku (chladí důležité provozní systémy) a pro chlazení spotřebičů systémů souvisejících s bezpečností.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A Tři divize systému technické vody důležité musí být provozuschopné.

B Dvě divize systému technické vody důležité musí být provozuschopné.

C První a třetí divize systému technické vody důležité musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky A je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4, limitní podmínky B na režimy R5 a R6 a limitní podmínky C na režim R7.

16.3.7 Systémy kontejnmentu

Kontejnment se skládá z hermetické obálky, dále z oddělovacích armatur na hranici hermetické obálky sprchového systému pro snížení tlaku a teploty, z ventilačních a filtračních systémů a z rekombinátorů vodíku.

16.3.7.1 Hermetická obálka

Hermetická obálka tvoří čtvrtou bariéru, bránící úniku RA látek do životního prostředí. Uvnitř hermetické obálky se nacházejí tři hlavní navzájem propojené části:

- Box parogenerátorů.
- Šachta barbotážní věže.
- Ventilační centrum.

Další hermetické prostory uvnitř hermetické obálky jsou za provozu oddělené vnitřní hermetickou hranicí. Jsou to:

- Barbotážní plynojemy.
- Hermetické dveře do barbotážních plynojemů.
- Poloobslužné prostory kontejnmentu.
- Hermetické uzávěry.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Hermetická obálka musí být těsná*[61].

B *Uzly hermetické obálky musí být uzavřené a těsné*[62].

C *Podtlak uvnitř hermetické obálky musí být ≥ 50 Pa*[63].

Platnost limitních podmínek A, B a C je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4.

16.3.7.2 Oddělovací armatury na hranici ochranné obálky

Oddělovací armatury na hranici ochranné obálky musí být schopny oddělit technologické systémy odstavením vybraných tras od vnějšího prostředí a tím zabránit úniku RA látek mimo kontejnment při signálu „Přetlak v boxu +10 kPa”, „Přetlak v boxu +15 kPa”, nebo „Velký únik”.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Otevřené oddělovací armatury na hranici ochranné obálky musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4.

16.3.7.3 Sprchový systém

Sprchový systém je systém snížení tlaku a teploty v kontejnmentu. Kontejnment sestává z hermetické obálky, oddělovacích armatur na hranici hermetické obálky a z ventilačních a filtračních systémů. Z důvodů zajištění maximální bezpečnosti jsou na bloku tři nezávislé divize sprchového systému. Systém je v činnosti jen při mimořádných stavech reaktoru. Za nominálního provozu reaktorového bloku je systém v pohotovostním režimu, připravený

---

[61] Je povoleno roztěsnění průhledítka na trase speciální kanalizace pro umožnění odběru vzorků, nařízenému ke zjištění zdroje nátoku na jímku odpadních vod.

[62] Je povoleno roztěsnění uzlů hermetické obálky po dobu nutnou pro provedení kontrolních činností, pro řešení neočekávaných provozních stavů a pro přípravu hermetické obálky k výkonovému provozu bloku po úspěšné tlakové zkoušce primárního a sekundárního okruhu.

[63] Je povolena ztráta podtlaku v hermetických uzávěrech po dobu nutnou pro vstup nebo výstup personálu do hermetického uzávěru. Dále je povoleno zrušení podtlaku v hermetické obálce režimu R4 po dobu nutnou pro přípravu hermetické obálky k výkonovému provozu bloku po úspěšné tlakové zkoušce primárního a sekundárního okruhu.

zasáhnout v případě iniciace od signálů ESFAS, popřípadě při požadavku operativního personálu blokové dozorny dle příslušných předpisů.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Tři divize sprchového systému musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4.

16.3.7.4 Vzduchotechnické systémy

Vzduchotechnické systémy musí být schopny zabezpečit čištění vzduchu a odvod tepla z místností hermetického prostoru během normálního a abnormálního provozu a dále prostřednictvím vytvořeného podtlaku v kontejnmentu musí omezit únik RA látek z hermetické obálky JE Dukovany tak, aby nebyly překročeny hodnoty ozáření obyvatelstva podle platných norem pro všechny projektované provozní stavy. V případě havarijních podmínek jsou vzduchotechnické systémy automaticky odstaveny z provozu.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Ventilační systémy TL 10, TL 11, TL 40 a TL 70 musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4.

16.3.7.5 Rekombinátory vodíku

V důsledku nehod, spojených s únikem chladiva z primárního okruhu (nehoda typu LOCA), může vznikat za určitých podmínek z reálných potenciálních zdrojů plynný vodík (pohavarijní vodík), který se uvolňuje do hermetické obálky. Pohavarijní vodík může vytvořit s okolním kyslíkem směs, schopnou hoření, a za určitých podmínek dokonce exploze s nepříznivými tlakovými účinky na stavební konstrukce hermetické obálky a na technologická zařízení uvnitř hermetické obálky. V prostorech hermetické obálky je v místech s předpokladem vzniku pohavarijního vodíku s nejvyšší koncentrací instalováno 17 ks pasivních rekombinátorů.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Všechny rekombinátory vodíku musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4.

16.3.8 Elektrické systémy

Elektrické systémy zajišťují normální i havarijní napájení spotřebičů, důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti.

16.3.8.1 Napájení vlastní spotřeby

Vyhláška SÚJB č. 195/1999 Sb. požaduje, aby zařízení elektrárny důležitá pro provoz, mohla být napájena ze dvou různých zdrojů (vlastní generátor a síť elektrizační soustavy). V souladu s tímto požadavkem je napájení vlastní spotřeby každého bloku JE Dukovany elektrickou energií zajištěno dvěma zdroji:

- Za pracovní zdroj z hlediska limit a podmínek považujeme odbočkový transformátor BT01 nebo BT02. Pro zajištění funkce není rozhodující, zda je odbočkový transformátor napájen ze systému 400 kV nebo turbogenerátoru. Rozhodující je to, že odbočkový transformátor dodá požadovaný výkon o odpovídajícím napětí. Pracovní zdroj zajišťuje napájení spotřebičů z nezajištěného napájení, důležitých pro odvod tepla z reaktoru do sekundárního okruhu v normálním provozu.
- Za rezervní zdroj z hlediska limit a podmínek považujeme rezervní přípojnice BL a BM. Pro zajištění funkce je nutné, aby rezervní přípojnice BL byla napájena z jednoho transformátoru rezervního napájení 0AU01 nebo 7AU01, resp. rezervní přípojnice BM byla napájena z jednoho transformátoru rezervního napájení 0AU02

nebo 7AU02. Rezervní přípojnice musí dodat požadovaný výkon o odpovídajícím napětí.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Dva rozvaděče 6 kV nezajištěného napájení musí být provozuschopné a napájeny z pracovního zdroje BT01 nebo BT02.*

B *Přípojnice rezervního napájení 6 kV BL a BM musí být provozuschopné a každá musí být napájena z transformátoru rezervního napájení.*

C *Rozvaděče 6 kV nezajištěného napájení, příslušející limitovaným dieselgenerátorům, musí být provozuschopné.*

Platnost limitní podmínky A je vázána na režim R1, limitní podmínky B na režimy R1 a R2 a limitní podmínky C na režimy R2, R3, R4. R5, R6 a R7.

16.3.8.2 Zajištěné napájení 2. kategorie

Každá divize bezpečnostního systému má přiřazen svůj podpůrný systém elektrického napájení, označovaný jako systém zajištěného napájení. Každý systém zajištěného napájení se skládá ze zdrojů a rozvodů a můžeme jej rozdělit dle kvality zajištění dodávky elektrické energie na systém zajištěného napájení 1. kategorie a systém zajištěného napájení 2. kategorie.

Systém zajištěného napájení 2. kategorie, který spadá pod limitní podmínku, zajišťuje dlouhodobě přívod energie na své přípojnice a tedy i pro systém zajištěného napájení 1. kategorie.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Tři divize systému zajištěného napájení 2. kategorie musí být provozuschopné.*

B *Jedna divize systému zajištěného napájení 2. kategorie musí být provozuschopná a na jedné další divizi systému zajištěného napájení 2. kategorie musí být pod napětím úsekový rozvaděč 380 V (EV, EW nebo EX).*

Platnost limitní podmínky A je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4, limitní podmínky B na režimy R5, R6 a R7.

16.3.8.3 Zajištěné napájení 1. kategorie

Systém zajištěného napájení 1. kategorie zajišťuje přívod energie na své přípojnice při výpadku systému zajištěného napájení 2. kategorie jen krátkodobě (kapacita akumulátorů), ale napájí své přípojnice nepřerušovaně. Je současně zdrojem napětí pro systém kontroly a řízení systému zajištěného napájení 2. kategorie.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Tři divize systému zajištěného napájení 1. kategorie musí být provozuschopné.*

B *Dvě divize systému zajištěného napájení 1. kategorie musí být provozuschopné.*

C *Jedna divize systému zajištěného napájení 1. kategorie musí být provozuschopná.*

Platnost limitní podmínky A je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4, limitní podmínky B na režimy R5 a R6 a limitní podmínky C na režim R7.

16.3.8.4 Čtvrtý systém zajištěného napájení 1. kategorie

Limitní podmínky pro 4. systém zajištěného napájení 1. kategorie naplňuje požadavek vyhlášky SÚJB č. 195/1999 Sb., která požaduje zabezpečit nepřetržité napájení řídících a ochranných systémů zařízení primárního okruhu. 4. systém zajištěného napájení 1. kategorie se skládá ze dvou identických (100 % záloha) podsystémů a z podružných střídavých rozvaděčů, společných pro oba podsystémy.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Dva podsystémy 4. systému zajištěného napájení 1. kategorie a podružné střídavé rozvaděče musí být provozuschopné.*

B *Jeden podsystém 4. systému zajištěného napájení 1. kategorie a podružný střídavý rozvaděč DB03 musí být provozuschopný.*

Platnost limitní podmínky A je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4, limitní podmínky B na režimy R5, R6 a R7.

16.3.9 Pomocné okruhy

16.3.9.1 Systémy automatického hašení

Stabilní hasicí halonové zařízení je určeno pro zajištění vysoké požární bezpečnosti vybraných prostor příčné a podélné etažérky.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

Stabilní hasicí zařízení v objektech podle tabulky musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4.

16.3.9.2 Systém dochlazování bloku

Dochlazovací systém bloku je určen pro vychlazování primárního okruhu na teplotu cca 50÷60 °C a pro stabilizaci na této teplotě odvodem zbytkového tepla. Zajišťuje normální dochlazení reaktorového bloku i při výpadku nezajištěného elektrického napájení sítě vlastní spotřeby. Normálním dochlazením bloku se rozumí takové dochlazení, při němž nejsou překročeny povolené meze technologických parametrů a fyzikálních veličin primárního i sekundárního okruhu.

Systém dochlazování je pro každý reaktorový blok navržen jako samostatný funkční technologický celek a obsahuje dvě redukční stanice dochlazování, dva technologické kondenzátory a tři dochlazovací čerpadla. Systém dochlazování je napojen na obě poloviny hlavního parního kolektoru samostatným potrubím s možností vzájemného propojení. Společný výtlak dochlazovacích čerpadel je napojen do obou polovin výtlačného kolektoru hlavních napájecích čerpadel opět s možností vzájemného propojení.

Vlastní limitní podmínky pak zní:

A *Jedna redukční stanice dochlazování a jeden technologický kondenzátor musí být provozuschopné.*

B *Dvě redukční stanice dochlazování a dva technologické kondenzátory musí být provozuschopné.*

C *Dvě dochlazovací čerpadla musí být provozuschopná.*

Platnost limitní podmínky A je vázána na režimy R1 a R2, limitní podmínky B na režimy R3, R4, R5 a R6, limitní podmínky C na režimy R1, R2, R3, R4, R5 a R6.

16.3.9.3 Čištění plynů a spalování vodíku

Systém spalování vodíku musí být schopen zamezit vzniku třaskavé směsi vodík - vzduch a systém čištění plynů musí být schopen zajistit čištění plynů, přivedených ze systému spalování vodíku, a dále zajistit odsávání a čištění plynů z nádrží nečistého kondenzátu.

Vlastní limitní podmínka pak zní takto:

Dva okruhy čištění plynů TS 20, TS 40, TS 60 a jeden okruh spalování vodíku TS 10, TS 50 musí být provozuschopné.

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3, R4 a R5.

16.3.9.4 Systém vysokotlakého vzduchu

Systém vysokotlakého vzduchu musí být schopen zabezpečit tlakový vzduch pro pneumatické rychločinné armatury na hranici hermetické obálky a pro pneumatické rychločinné armatury bezpečnostních systémů.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Tlak ve třech rozvodech vysokotlakého vzduchu US 20, 40, 60 musí být ≥ 4 MPa.*

B *Tlak v rozvodech vysokotlakého vzduchu příslušejících k rychločinným armaturám limitních divizí bezpečnostních systémů musí být ≥ 4 MPa.*

Platnost limitní podmínky A je vázána na režimy R1, R2, R3 a R4, limitní podmínky B na režimy R5 a R6.

16.3.9.5 Vzduchotechnické systémy blokové a nouzové dozorny

Vzduchotechnické systémy blokové dozorny a nouzové dozorny zajišťují požadované parametry prostředí pro operativní personál a technologické zařízení a odvádí vydělené teplo od těchto zařízení. Jejich úkolem je udržet kontrolu podmínek prostředí, nezbytných pro provoz bezpečnostních systémů a pro přístup personálu jaderného zařízení, při plnění činností důležitých pro bezpečnost.

Vlastní limitní podmínka pak zní:

Vzduchotechnika blokové a nouzové dozorny musí být provozuschopná v rozsahu:

- *Režim izolace blokové dozorny.*
- *Režim izolace nouzové dozorny.*
- *Autonomní chladící jednotka blokové dozorny.*
- *Autonomní chladící jednotka nouzové dozorny.*

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3, R4, R5, R6 a R7.

16.3.10 Aktivity kapalných a plynných výpustí

Plnění této limitní podmínky zabezpečuje omezení výpustí nebo úniků radioaktivních látek a ionizujícího záření pod stanovenou hodnotu autorizovaného limitu v průběhu normálního a abnormálního provozu.

Vlastní limitní podmínky pak zní takto:

A *Aktivity radionuklidů, vznikajících v JE Dukovany a vypouštěných do ovzduší během jednoho kalendářního roku, nesmí způsobit ozáření jednotlivce z kritické skupiny obyvatelstva větší, než autorizovaný limit 40 µSv, který se vztahuje na součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření.*

B *Aktivity radionuklidů, vznikajících v JE Dukovany, a vypouštěných do vodoteče během jednoho kalendářního roku, nesmí způsobit ozáření jednotlivce z kritické skupiny obyvatelstva větší, než autorizovaný limit 6 µSv, který se vztahuje na součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření.*

Platnost limitní podmínky je vázána na režimy R1, R2, R3, R4, R5, R6 a R7.

16.4 Organizační opatření

16.4.1 Odpovědnosti řídicích pracovníků

Za bezpečný provoz JE Dukovany je v souladu s právními a jinými předpisy odpovědný ředitel divize Výroba, ČEZ, a. s. Za provozování jaderné elektrárny v souladu s požadavky limit a podmínek zodpovídá ředitel JE Dukovany, ČEZ, a. s. Za zajištění soustavného dohledu nad dodržováním požadavků limit a podmínek zodpovídá ředitel útvaru Bezpečnost, ČEZ, a. s.

Přímou odpovědnost za řízení nepřetržitého provozu jaderné elektrárny a za její bezpečnost má směnový inženýr, ostatní pracovníci směny mají odpovědnost v rozsahu daném jejich funkčními povinnostmi.

16.4.2 Pravidla pro obsazení směny

Řízení nepřetržitého směnového provozu JE Dukovany je zabezpečeno střídáním pracovníků dle směnového harmonogramu pro řídící a obslužný směnový personál. Obsazení směny JE Dukovany je upraveno vnitřní dokumentací ČEZ, a. s.

Pro obsazení směny nepřetržitého provozu platí následující pravidla:

- Na směně musí být přítomni a způsobilí k výkonu funkce:
    - Jeden vybraný pracovník na JE Dukovany pro řízení provozu jaderně energetického zařízení (SI - směnový inženýr).
    - Jeden vybraný pracovník na blok pro řízení provozu bloku JE Dukovany (VRB - vedoucí reaktorového bloku).
    - Jeden vybraný pracovník na blok pro řízení primárního okruhu JE Dukovany (OPO - operátor primárního okruhu).
    - Jeden vybraný pracovník na blok pro řízení sekundárního okruhu JE Dukovany (OSO - operátor sekundárního okruhu).
- V režimech R1, R2, R3, R4 a R5[64] musí být na blokové dozorně přítomni a způsobilí k výkonu funkce tři vybraní pracovníci v tomto složení:
    - Pro funkci VRB jeden vybraný pracovník s některým z platných oprávnění SI, VRB.
    - Pro funkci OPO jeden vybraný pracovník s některým z platných oprávnění SI, VRB, OPO.
    - Pro funkci OSO jeden vybraný pracovník s některým z platných oprávnění SI, VRB, OSO.
- Do 60 minut od požadavku SI musí být na JE Dukovany přítomen a způsobilý k výkonu funkce jeden vybraný pracovník pro řízení provozu jaderně energetického zařízení (BI – bezpečnostní inženýr).
- Po dobu provádění všech fyzikálních testů a vybraných technologických testů s vlivem na jadernou bezpečnost musí být na blokové dozorně přítomen a způsobilý k výkonu funkce vybraný pracovník - provozní fyzik (PF).
- Provádění manipulací s palivem v aktivní zóně, bazénu výměny, bazénu skladování a šachtě č. 1 musí být, ve všech režimech, nepřetržitě sledováno vybraným pracovníkem, způsobilým k výkonu funkce provozní fyzik (PF) nebo kontrolní fyzik (KF)[65].
- Postup všech prací, souvisejících s výměnou paliva na bloku, řídí a kontroluje vybraný pracovník způsobilý k výkonu funkce VRB.
- Na směně musí být pro řízení provozu JE Dukovany a obsluhu obou HVB trvale přítomni a způsobilí k výkonu funkce pracovníci následujících odborností:
    - Pracovníci pro obsluhu zařízení primárního okruhu a budovy aktivních pomocných provozů.
    - Pracovníci pro obsluhu zařízení sekundárního okruhu.
    - Pracovníci pro obsluhu zařízení elektro části a elektrické dozorny.
    - Pracovníci pro obsluhu zařízení SKŘ.
    - Pracovníci odbornosti TIS.
    - Pracovníci radiační ochrany provozu.
    - Pracovníci chemického provozu.

---

[64] V režimech R6 a R7 musí být na blokové dozorně přítomen jeden vybraný pracovník s některým z platných oprávnění SI, VRB, OPO.

[65] Při provádění manipulací pouze s absorbátory v bazénu skladování a šachtě č. 1 není dohled těchto vybraných pracovníků vyžadován.

16.4.3 Kvalifikace vybraných pracovníků

Vybraní pracovníci, vykonávající pracovní činnosti, mající bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost musí splňovat požadavky stanovené zákonem č.18/1997 Sb. v platném znění, a vyhláškou SÚJB č. 146/1997 Sb. v platném znění a musí mít platná oprávnění k výkonu činnosti vydaná SÚJB a platná pověření vydaná zaměstnavatelem.

16.4.4 Kontrola a dozor

Útvar Jaderná bezpečnost provádí vnitřní nezávislou kontrolu dodržování limit a podmínek. V rámci této nezávislé kontroly se v souladu s příslušnou vnitřní dokumentací provádí:

- Kontrola předpisů, postupů a programů a jejich změn z hlediska dodržení požadavků limit a podmínek.
- Schvalování navrhovaných zkoušek a experimentů z hlediska dodržení požadavků limit a podmínek.
- Posuzování všech navrhovaných změn znění limit a podmínek.
- Vyšetření všech případů porušení limit a podmínek, jejich vyhodnocení a zpracování opatření proti opakovanému výskytu jejich porušení.

Vnější kontrolu a dozor (státní dozor) nad dodržováním limit a podmínek je oprávněn provádět na základě zákona č. 18/1997 Sb., (atomový zákon) Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Práva a povinnosti SÚJB při výkonu kontroly a dozoru jsou upraveny zákonem č.18/1997 Sb. a zákonem č. 552/1991 Sb., o státní kontrole.

16.4.5 Postupy a programy

Pro systém řídicí a provozní dokumentace JE Dukovany platí následující zásady:

- Musí být zpracovány a schváleny celoblokové a systémové provozní předpisy pro všechny režimy provozu JE Dukovany. Řízení provozu podle této provozní dokumentace zajišťuje bezpečný provoz za normálních podmínek, při předpokládaných odchylkách i havarijních situacích.
- Jako součást dokumentace k vydání povolení SÚJB k uvedení jaderného reaktoru do kritického stavu (tzn. před každým začátkem palivového cyklu nebo před každou překládkou paliva v rámci palivového cyklu) musí provozovatel předložit neutronově-fyzikální charakteristiky aktivní zóny reaktoru.
- Musí být vypracovány, schváleny a dodržovány příslušné řídící postupy, včetně pracovních postupů a dále navazující provozní postupy na provádění zkoušek, kontrol, testů, údržby a oprav jaderně energetických za řízení a systémů uvedených v těchto limitách a podmínkách. Před uvedením těchto zařízení nebo systémů do provozu musí být ověřena a dokladována jejich provozuschopnost.
- Každý navrhovaný test, experiment nebo úprava na zařízení, uvedených v limitách a podmínkách, může být realizován až po kladném posouzení pracovníky provádějícími vnitřní nezávislý dozor dodržování limit a podmínek.
- Musí být zpracovány programy pro následující činnosti na zařízeních, jejichž provoz je upraven limity a podmínkami:
  - Běžná oprava reaktorového bloku.
  - Generální oprava reaktorového bloku.
- Provozovatel musí mít vytvořenou a schválenou dokumentaci, zabezpečující:
  - Provádění požární a fyzické ochrany JE Dukovany.
  - Soubor plánovaných opatření k likvidaci radiační nehody nebo radiační havárie a k omezení jejich následků.

17 Zajištění jakosti

Zajištění jakosti jaderně energetického zařízení je podmíněno realizací komplexu organizačních, technických a kontrolních opatření, souvisejících s jakostí zařízení pro JE Dukovany, která jsou realizována v zájmu jaderné bezpečnosti (JB).

Žadatel o povolení k činnostem, pro umístění jaderného zařízení, pro jeho výstavbu, pro jednotlivé etapy uvádění jaderného zařízení do provozu a pro provoz, podle zákona č. 18/1997 Sb § 9, odstavce 1, písmen a/, b/, c/ a d/ (zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření - atomový zákon) v platném znění, je vázán podmínkou na vydání povolení (viz § 13, odst. 5 tohoto zákona), a to schválením programu zabezpečování jakosti pro povolovanou činnost. Tento program je žadatel povinen předložit SÚJB ke schválení, jakož i příslušnou dokumentaci podle § 17, odst. 2, písm. a/ až g/. Požadavky na zabezpečování jakosti vybraných zařízení (VZ) s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd určuje vyhláška SÚJB č. 132/2008 Sb. o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd.

Před účinností Atomového zákona a jeho vyhlášek (do roku 1997) byl v účinnosti zákon č. 28/1984 Sb., o státním dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení, včetně předpisů, zejména Výnosu č. 5 Československé komise pro atomovou energii ze dne 14. 11. 1979, o zajištění jakosti vybraných zařízení v jaderné energetice z hlediska jaderné bezpečnosti, který byl v roce 1990 nahrazen vyhláškou ČSKAE č. 436/1990 Sb., o zajištění jakosti vybraných zařízení z hlediska jaderné bezpečnosti jaderných zařízení a následně po vydání atomového zákona vyhláškou SÚJB č.214/1997 Sb. o zabezpečování jakosti při činnostech souvisejících s využíváním jaderné energie a činnostem vedoucích k ozáření a o stanovení kritérií pro zařazení a rozdělení vybraných zařízení do bezpečnostních tříd.

17.1 Zajištění jakosti během projektování, výstavby a spouštění

Činnosti projektování, výstavby a spouštění JE Dukovany v období let 1978 až 1987 navazovaly na zkušenosti ze stavby JE Jaslovské Bohunice. Na projektování se podílely projektové organizace LOTEP Leningrad a Enegroprojekt Praha. Ústředním investorem bylo Federální ministerstvo paliv a energetiky ČSSR (FMPE), které bylo nadřízeným orgánem přímého investora.

Při činnostech asistovali sovětští specialisté – poradci. Služby těchto poradců byly dohodnuty k předávání zkušeností, odbornému vedení československých pracovníků i k zajištění jakosti výstavby takto:

- 10 osob autorský dozor na dobu 5 let.
- 15 osob technický dozor na dobu 5 let.
- 20 osob pro šéfmontáž na dobu 4 roky.
- 10 osob pro rozšířenou šéfmontáž na dobu 4 roky.
- 50 osob pro komplexní vyzkoušení na dobu 10 měsíců.

17.1.1 Organizace výstavby

Hlavní účastníci výstavby byli určeni v mezivládní dohodě ČSSR – SSSR, a to:

- Ústřední investor - FMPE
- Přímý investor Energoinvest, ředitelství výstavby ČEZ.
- Generální projektant Energoprojekt, koncernová projektová inženýrská a účelová organizace.
- Generální dodavatel stavební části (GDs) – Průmyslové stavby Brno.
- Generální dodavatel technologie (GDt) – Škoda, oborový podnik.

Při vydání Výnosu ČSKAE č. 5 v roce 1979 byly již plánovací a přípravné činnosti ke stavbě JE Dukovany zahájeny. Související dokumenty však byly často aktualizovány zejména s ohledem na dodavatelsko-odběratelské vztahy a změny termínů výstavby. Týkalo se to Investičního záměru, Projektového úkolu a Zadávací bezpečnostní zprávy. Organizace, které navrhovaly, projektovaly, vyráběly, dodávaly, zabezpečovaly a prováděly stavební i montážní práce budov, systémů a komponent včetně vybraného zařízení, respektive uváděly JE Dukovany do provozu, měly jednoznačnou organizační strukturu s definovanými funkčními odpovědnostmi. V těchto organizacích bylo uplatňováno liniové a direktivní řízení v rámci plánovitého hospodářství ČSSR. Důležitou součástí zajištění jakosti ve výstavbě byla úroveň znalostí pracovníků, kteří se podíleli na činnostech, které mohly ovlivnit jakost. Pro tyto pracovníky byly v popisech pracovních funkcí stanoveny odborné znalosti, technické dovednosti i praktické zkušenosti.

Kvalifikační požadavky pracovníků generálního projektanta byly předepsány v kvalifikačním katalogu Energoprojektu Praha. Základní zásady uváděla navazující Příručka zabezpečování výchovy a kvalifikace zaměstnanců. U generálního dodavatele stavby byla odborná způsobilost specifikována na funkci, ke které se předepisovala požadovaná kvalifikace vzhledem k činnostem této funkce. Požadavky na odbornou přípravu a výuku pracovníků byly popsány v řídicí dokumentaci organizace Průmyslové stavby Brno. V organizační struktuře generálního dodavatele technologie Škoda Plzeň byla rovněž pro každé funkční místo stanovena požadovaná kvalifikace. Pro pracovníky byl stanoven plán přípravy, jehož účelem bylo zajištění předepsané kvalifikace a následně její zvyšování a prohlubování. Požadavky na kvalifikaci se také uváděly v Individuálních programech zajištění jakosti (IPZJ) jednotlivých dodavatelů VZ.

17.1.2 Programy zajištění jakosti

V roce 1979 byl vydán „Program zajištění jakosti a provozní kontroly vybraných zařízení“, ve kterém je konstatováno, že Program zajištění jakosti není součástí úvodního projektu. Bylo však dohodnuto, že se požadavky programu zajištění jakosti a provozní kontroly promítnou do jednotlivých částí úvodního projektu takto:

- B: Souhrnné řešení stavby – zapracovat všeobecné požadavky zajištění jakosti.
- C: Technologická část – v každém provozním souboru zavést odkaz na Seznam nejdůležitějších zařízení, dopracovat manipulace s provozně ověřovanými vzorky materiálů důležitých zařízení na vyhodnocovací pracoviště.
- E: Rozpočtová část stavby – zapracovat náklady na uplatňování požadavků programu zajištění jakosti a provozních kontrol, čerpání zahrnout do 1. skupiny finančních prostředků dle kritérií ČSKAE.
- F: Plán organizace výstavby – zpracovat harmonogram pro tvorbu individuálních programů zajištění jakosti v období výstavby a do technické zprávy doplnit způsoby zajištění jakosti během montáže a uvádění zařízení do provozu.

17.1.2.1 <u>Klasifikace vybraných zařízení</u>

Dokument program zajištění jakosti a provozních kontrol obsahoval přílohu „Schéma základních částí vybraných zařízení a potrubí Elektrárny Dukovany“, v kterém je uvedeno 26 pozic vybraných zařízení o celkovém počtu 121 ks vybraných zařízení/blok, na které navazuje výběr položek individuálních programů zajištění jakosti. Výnos č. 5/1979 přímo nestanovil povinnost zpracovat seznam vybraných zařízení, tato povinnost se objevila až s vydáním vyhlášky č. 436/1990 Sb.(§ 12, odst. 5, písm. a), která v roce 1990 nahradila Výnos č. 5. Proto se výčet vybraných zařízení podle klasifikace uvedené v oddíle 2 tohoto Výnosu zařazoval do příloh programu zajištění jakosti nebo do bezpečnostních zpráv.

Povinnost zpracování a udržování seznamu důležitých zařízení byla také zavedena s vydáním vyhlášky č. 105/1982 Sb., k zajištění bezpečnosti technických zařízení v jaderné energetice. Tento seznam však měl poněkud jiný záběr a spadal pod dozor ČÚBP, i když se výčet zařízení v obou seznamech převážně shodoval.

17.1.2.2 Zadávací program zajištění jakosti

V Předběžné bezpečnostní zprávě byla pro JE Dukovany doplněna kapitola 5 „Zadávací program zajištění jakosti“, s účelem zavést programy zásad a požadavků Výnosu č. 5 z roku 1979 pro všechny účastníky výstavby a provozu JE Dukovany. Programy měly vycházet z okamžitých možností a s jejich pomocí byla zvýšena pravděpodobnost dosahování jakosti vybraných zařízení na úroveň, která odpovídá potřebám jaderné bezpečnosti.

Z obsahu a textu této kapitoly byla zřejmá orientace na hlavní zařízení elektrárny s důležitým vlivem na jadernou bezpečnost, proto hlavním přínosem bylo, že byla definována povinnost stanovit množinu vybraných zařízení, a že se definovala povinnost stanovit požadavky na jejich jakost, způsoby dosahování a ověřování této jakosti, včetně požadavku na zdokumentování těchto činností.

Jednalo se o první dokument tohoto typu a již v průběhu jeho zpracování a následně v realizační etapě byly postupně vytvářeny podmínky a sbírány zkušenosti pro uplatňování požadavků Výnosu č. 5 o zajištění jakosti vybraných zařízení. Záměr se podařil a tento program zavedl systematickou a cílevědomou činnost k zajištění jakosti, což se podařilo zejména formou individuálních programů zajištění jakosti pro definovaná vybraná zařízení.

17.1.2.3 Dílčí programy zajištění jakosti

Tyto programy měly být zpracovávány pro jednotlivé činnosti, počínaje navrhováním až po vyřazení jaderně energetického zařízení z provozu, měly vycházet ze základních zásad a koncepcí uvedených v zadávacím programu zajištění jakosti, měly stanovit způsob a organizaci zajištění jakosti a kontroly činností včetně nezávislé kontroly. Tyto programy byly v období let 1980 až 1987 zpracovány u hlavních dodavatelů (Energoprojekt Praha, Škoda Plzeň) a byly doplňovány směrnicemi a postupy organizací, které se na výstavbě podílely. Hlavní účastníci výstavby uplatňovali požadavky zajištění jakosti ve smlouvách u svých dodavatelů. Stejný princip smluvního zajištění jakosti byl použit až k výrobcům nebo subdodavatelům materiálů a polotovarů. Proto byl ve shodě s požadavky projektanta a hlavního dodavatele zařízení stanoven v individuálních programech zajištění jakosti rozsah prací, technické a jakostní požadavky.

Zejména ČSKAE se v té době zaměřila na posuzování a schvalování individuálních programů zajištění jakosti, které byly mnohem podrobnější a vyhovovaly tehdejším podmínkám zajištění jakosti. Rovněž vyvíjela tlak na dodržování jejich požadavků.

17.1.2.4 Individuální programy zajištění jakosti

Tyto programy se zpracovávaly pro jednotlivá vybraná zařízení na činnosti v průběhu výroby, montáže a uvádění do provozu, konkretizovaly požadované vlastnosti vybraných zařízení, určovaly rozsah a způsob provedení kontrol a obsahovaly kritéria přípustnosti vad pro dané zařízení. Po dohodě ČSKAE a Škody Plzeň ze srpna 1981 byl zpracován vzorový individuální program zajištění jakosti pro tlakovou nádobu jaderného reaktoru, podle kterého byly dále zpracovávány programy pro ostatní vybraná zařízení.

Tyto programy byly v období spouštění 1. bloku JE Dukovany postupně doplňovány podle zařazení dalších zařízení do seznamu vybraných zařízení. Byly však i případy, kdy byl individuální program zajištění jakosti zpracován, odsouhlasen a schválen až po zahájení výroby. Takové případy nastaly u vybraných zařízení s velmi dlouhou výrobní lhůtou. Docházelo k nim však také proto, že Výnos ČSKAE č. 5 byl vydán a vstoupil v platnost v době, kdy již byl schválen a vydán úvodní projekt a výroba takových zařízení již byla zahájena. Rovněž nebyla zkušenost se zpracováním programů u dodavatelů, ani zkušenosti se schvalováním a sestavou individuálních programu zajištění jakosti na straně investora.

Tyto případy nastaly také u dovážených zařízení, na které neměl odběratel v době uzavření smlouvy s organizací zahraničního obchodu potřebné podklady od zahraničního výrobce. Proto se uplatňovala tato řešení:

- Finální dodavatel zpracoval vlastní návrh individuálního programu zajištění jakosti podle informací z úvodního projektu s respektováním zásad Výnosu ČSKAE č.

2/1978 a č. 5/1979 a uvedl, že tento návrh dopracuje po obdržení chybějících informací. Dopracování se provádělo celkovou revizí individuálního programu zajištění jakosti a novým schvalovacím procesem nebo formou dodatečných příloh, které byly samostatně předkládány k odsouhlasení.

- Pro speciální zařízení, kdy byly informace československého dodavatele příliš omezené, nemělo význam zpracovávat formální návrh, který by byl celý přepracován. Proto byla se stavebníkem dohodnuta výjimka, že bude individuální program zajištění jakosti zpracován později, vždy však dříve, než započala vlastní montáž na elektrárně. Taková zařízení podléhala rozsáhlé vstupní kontrole podle podkladů výrobce a i další kontroly byly většinou rozšířené.

Individuální programy zajištění jakosti byly aktualizovány v závislosti na změnách a dodatcích projektu, změnách legislativy, na organizačních změnách jednotlivých účastníků výstavby a na základě požadavků orgánů státního dozoru. Pro změny a úpravy této dokumentace o zajištění jakosti platily stejné zásady jako pro tvorbu původní dokumentace.

Individuální program zajištění jakosti platí až do konce životnosti vybraného zařízení a musí být po celou dobu životnosti JE Dukovany archivovány. Zůstávají platné, i když byly nahrazeny odpovídajícím dokumentem, který zahrnul původní požadavky na zajištění jakosti příslušného vybraného zařízení, respektive tyto požadavky dále rozšiřuje. V tomto případě ztrácí původní individuální program zajištění jakosti pouze svoji účinnost, kterou přebírá nový dokument po schvalovacím řízení podle zásad řízení dokumentace.

17.1.3 Řízení úvodního projektu

Generální projektant Energoprojekt Praha používal požadavky a postupy zajištění jakosti k ovlivňování a usměrňování jakosti při činnostech navrhování a projektování s cílem zajistit:

- Správné promítnutí požadavků ČSKAE, Státního odborného dozoru a zásad projektového řešení bezpečnostně důležitých staveb, systémů a komponent do specifikací zařízení, jejich výkresů, instrukcí a postupů pro výrobu, montáž a uvádění do provozu.
- Specifikování odpovídajících norem nebo tvorbu technických podmínek pro tato zařízení, ale i norem z oblasti zajištění jakosti v projektové dokumentaci.
- Sledování odchylek od těchto norem při autorském dozoru a podílení se na provedení nápravných opatření k zajištění odpovídající jakosti.

Uvedená opatření měla zajistit i odpovídající hodnocení pro volbu vhodných materiálů, částí, zařízení a pracovních postupů, které byly nutné k zajištění bezpečnostních funkcí staveb, systémů a komponent. Byly využity dostupné výpočtové programy pro reaktorovou fyziku, termodynamiku, hydrauliku, dále pro pružnost a pevnost materiálů a celků.

17.1.3.1 Kontrola, ověřování a hodnocení projektových řešení

Organizace a osoby, které odpovídaly za projektová řešení a provedení návrhu seznamu vybraného zařízení byly povinny zajistit kontrolu projektových řešení, aby byl aplikován soupis řešení použitých v Úvodním projektu a koncepce základních podmínek pro realizaci činností souvisejících se zajištěním jakosti, a to především:

- Z hlediska přístupnosti ke kontrolovanému vybranému zařízení – již v dispozičním řešení, s popisem dekontaminace povrchů, možnosti snímatelné izolace apod.
- Vybavení materiálové, defektoskopické a diagnostické laboratoře.
- Měřící, kontrolní a diagnostické systémy pro kontrolu během provozu s ohledem na požadavky dodavatelů vybraných zařízení.

Dále byly povinny zajistit ověřování projektových řešení a provedení návrhu seznamu vybraných zařízení, zda návrh v jednotlivých stupních splňoval požadavky stanovené v platných předpisech a technických normách. Ověřování projektových řešení znovu zajišťovalo výše uvedené požadavky a podmínky kontroly. Sledovaly se komplexní podmínky řešení k exponovaným detailům a místům podle charakteru provozu, včetně podmínek radiační bezpečnosti a hygieny pracovníků, kteří by kontroly vybraného zařízení prováděli.

Povinností bylo rovněž zajistit hodnocení projektových řešení a umožňovat jejich dopracování podle posledních poznatků z provozu v JE Jaslovské Bohunice, provádět kontrolu alternativními metodami a experimentálními programy v modelovém i skutečném měřítku i zajištění experimentálních prací pro přechod od periodických kontrol na kontinuální způsoby měření a kontrol vybraného zařízení.

17.1.3.2 Dokumentace návrhu a změny návrhu

Dokumentace návrhu zahrnovala veškeré údaje, týkající se návrhu konstrukce, technologie výroby, montáže, provozního režimu a obsluhy a to v rozsahu a podrobnostech, jak byly známy v době vypracování dokumentace, spolu se zpracováním příslušného individuálního programu zajištění jakosti. Údaje o návrhu zařízení, které vyplynuly z úvodního projektu, zde byly upřesněny z převzaté dokumentace LOTEPu a z informací dodavatele (výrobce), který zpracovával prováděcí dokumentaci, ověřoval a ručil za jakost dodaného vybraného zařízení, současně s ohledem na požadavky předpisů.

Změny návrhu byly sledovány, identifikovány a posuzovány s hodnocením vlivu této změny na původní návrh. Byla dodržována zásada, že změny projektu se sledují a kontrolují stejným způsobem jako při normálním projektování a změna podléhá stejnému způsobu ověřování a schvalování jako původní návrh. Hodnocení a schvalování změn prováděla autorská projektová organizace, pokud nebyla v procesu výstavby přenesena odpovědnost na jiný subjekt. Změny byly projednávány na jednáních hlavních účastníků výstavby a týkaly se také úprav, které na schválené změny navazovaly.

17.1.3.3 Distribuce a archivace projektu

Distribuce projektu a související dokumentace byla v rámci dodavatelského systému určena v přílohách smluv mezi účastníky výstavby. Distribuci projektové dokumentace jednotlivým útvarům v JE Dukovany (případně externím subjektům) zajišťovalo oddělení dokumentace řízeným způsobem zpravidla podle stálých distribučních seznamů. Z tohoto místa byly stejným způsobem rozdělovány také změny projektové dokumentace, pokud si tuto činnost nezajistil již finální dodavatel mezi své účastníky výstavby. Převzetí distribuované projektové dokumentace potvrdil uživatel potvrzením protokolu. Útvar, který projektovou dokumentaci rozesílal, také stahoval neplatnou projektovou dokumentaci, a zajišťoval její skartaci.

Za archivaci projektové dokumentace je i nyní v JE Dukovany odpovědné oddělení dokumentace. Tento útvar zajišťuje převod dat o dokumentech do příslušné softwarové aplikace. Papírová (originální) verze projektové dokumentace je uložena v archivu originálů v kompaktních pojízdných regálech v budově archivu technické dokumentace. Přístup k těmto originálům je omezen pouze pro „kontrolní a studijní účely ve studovně archívu.

Dokumentace skutečného provedení díla v JE Dukovany vychází z projektové dokumentace, a řídí se podobnými postupy. Důležitá část dokumentace skutečného provedení je nyní ještě konvertována do elektronické formy.

17.1.4 Řízení dokumentace

17.1.4.1 Řízení a zpracování průvodní dokumentace

Průvodní dokumentace byla řízena tak, aby obsahovala zejména:

- Záznamy o jakosti pro vybraná zařízení, doklady o jakosti prvků a zařízení, o činnostech ovlivňujících jakost, atesty o vlastnostech materiálů, svarů nebo dílů zařízení, záznamy o výsledcích činností, které proběhly za účelem vyhodnocení stavu a zajištění jakosti vybraného zařízení.
- Pasporty k předávanému zařízení dle vyhlášky ČÚBP č. 105/1982 Sb., k zajištění bezpečnosti technických zařízení v jaderné energetice (později vyhláška č. 76/1989 Sb.).

- Vyplněné a potvrzené listy technických údajů, zápisy o zkouškách, stanoviska dozorných orgánů a ostatní dokumenty, jejichž dokladování vyplývalo z předpisů a nařízení státních orgánů, smluvně uvedených ČSN, respektive požadavků odběratele.
- Návody na obsluhu, provoz, opravy a údržbu zařízení.
- Technologické postupy montáže a demontáže zařízení.
- Návrhy provozních předpisů.
- Návrh programu provozních kontrol.
- Protokoly o výsledcích přejímacích, vstupních, předmontážních a předprovozních kontrol.
- Protokoly a vyhodnocení zkoušek.
- Zprávy o výchozí revizi elektrických zařízení.
- Technické podmínky pro dodávku, montáž a provoz zařízení.
- Osvědčení o jakosti a kompletnosti dodávek.
- Osvědčení o jakosti a kompletnosti montážních prací, jejichž součástí byly protokoly o výsledcích předmontážní a montážní kontroly.
- Protokoly o výsledcích zkoušek po montáži.
- Ověřené kopie povolených výjimek z ČSN a obecně závazných předpisů.
- Seznamy a technická specifikace speciálních zařízení a přípravků pro opravy.
- Výrobní schéma instalovaného elektrického zařízení (rozvaděče, pulty, skříně apod.).
- Plány kabelového a trubkového rozvodu.
- Zkušební protokoly (cejchovní křivky), dokumentace o nastavení či seřízení, popřípadě o metrologickém ověření.
- Výkresy potrubí s označením druhů a čísel svárů (ve skutečném stavu).
- Záznamové listy o svarech včetně záznamů o vyhodnocení defektoskopické zkoušky.
- Seznam svářečů, kteří svařovali potrubí s udáním druhu a doby platnosti jejich oprávnění.
- Seznam kontrolujících defektoskopických pracovníků s vyznačením jejich oprávnění.
- Zásady a kritéria pro opakující se kontroly, revize a zkoušky během provozu.
- Výrobní dokumentace.
- Záznam o prověření, že byly splněny všechny požadavky na kontroly a zkoušky.
- Protokoly o ukončení realizace.
- Seznam odchylek od výrobní a montážní dokumentace (s identifikací záznamu o změně nebo opravě – včetně záznamu o povolení změny apod.)

Tato dokumentace byla přejímána odběratelem v přiměřeném rozsahu podle složitosti vybraného zařízení a důležitosti pro jadernou bezpečnost, dále obsahovala detailní technické specifikace veškerých komponentů jednotlivých dodávaných zařízení včetně náhradních dílů se všemi technickými údaji a údaji potřebnými pro identifikaci zařízení a dodatečné objednávání náhradních dílů.

17.1.4.2 Instrukce, postupy a výkresy

Dílčí činnosti, které ovlivňovaly jakost v projektování, při uzavírání smluv o dodávkách, při výrobě, výstavbě, montáži, zkoušení, kontrolách a hodnocení byly zpracovány u jednotlivých dodavatelů na výkresech, schématech, postupech a instrukcích přiměřeně k zavedené praxi. Pro zajištění vypovídacích údajů a funkci těchto dokumentů byl hlavními dodavateli pro společná jednání předkládán také odpovídající vzorový dokument. Tak bylo uplatněno řízení doporučené jednotnosti těchto dokumentů včetně určení odpovídajících kvantitativních údajů (jako jsou rozměry, tolerance, limity) i kvalitativních kritérií (dílenské vzorky, radiografické přejímací etalony), na jejichž základě bylo možno určit, zda předepsané činnosti byly uspokojivě provedeny.

Pro takto zhotovované dokumenty lze s ohledem na tehdy vysoce vyspělou normativně-technickou základnu konstatovat, že byla evidentní shoda mezi uplatňovanými zásadami zajištění jakosti jaderných elektráren, jak vyplývaly z publikací IAEA a zásadami komplexního systému řízení jakosti v ostatních odvětvích a oborech národního hospodářství. Cílem

komplexního systému řízení jakosti bylo mimo jiné snížení poruchovosti, zvýšení spolehlivosti a pohotovosti provozovaného zařízení.

17.1.4.3 Řízení ostatní dokumentace

Řízení dokumentace se provádělo s řízenou dokumentací podle Archivního řádu a plánu. Tento dokument patřil spolu s Organizačním řádem k základním řídicím dokumentům organizací, zúčastněných na výstavbě JE Dukovany. Pro dokumenty, které popisovaly činnosti ovlivňující jakost, byla zahrnuta následující opatření:

- Dokumentace byla posouzena z hlediska správných, jasných a přesných informací s ohledem na přiměřenost jejího zpracování a schválena před zahájením činnosti pověřenými osobami podle Organizačního řádu.
- Změny dokumentace byly hodnoceny a schvalovány stejnou organizací, která hodnotila a schválila původní dokumentaci, pokud nebylo doplněno jiným opatřením.
- Byly zajištěny prostředky pro aktualizaci zastaralé nebo poškozené dokumentace s řádnou evidencí původních i nahrazených listů dokumentů.

Činnosti, související se zajištěním jakosti vybraného zařízení, byly zpracovány v příslušných programech zajištění jakosti, harmonogramech prací, instrukcích, pracovních postupech, výkresech, technických podmínkách, metodách apod. Dokumentace byla průběžně kontrolována při zpracování, vydávání, používání, při změnách, a to především z hlediska splnění stanovených požadavků, technických norem, smluvních závazků, zajišťování dodávek, způsobu zpracování dokumentů a také způsobů jejich ověřování, přezkoumávání a schvalování.

17.1.5 Kontroly

Kontrola byla definována jako zjišťování stavu návrhů zařízení, systémů, komponent a prvků včetně materiálů a svarů (Výnos ČSKAE č. 5/1979, § 3, odst. 4). V jaderném zařízení nesmělo být nic ponecháno náhodě. Bez nezávislé kontroly nebylo možné aplikovat princip samokontroly, neboť každý systém závislý na jediném pracovníku mohl v praxi selhat. Proto byly plánovací, přípravné, navrhovací a realizační činnosti související se zajišťováním jakosti a výstavbou JE Dukovany i výsledky těchto činností pravidelně kontrolovány.

V přípravě prací to byly kontrolní činnosti prováděné při zpracování úvodního projektu, výrobní a jiné prováděcí dokumentace, ať konstrukční, technologické nebo při vlastní přípravě výrobní a montážní činnosti. Mezi činnosti zajištění jakosti patřily i příslušné investorské práce související např. se zajištěním projektové dokumentace. V průběhu prací byly uplatněny realizační kontroly, např. při provádění technického dozoru investora, projednávání příslušných programů zajištění jakosti, jejich odsouhlasení a schválení. Provádění kontrolních činností bylo předpisováno v každé prováděcí a související dokumentaci včetně požadavků na ověřování.

17.1.5.1 Programy kontrol

Provádění konkrétních kontrol při výstavbě a na zařízení JE Dukovany se řídilo dokumentací. Kontrolní činnosti byly přímo předepsány dodavateli nebo výrobci na výkresech, v technologických a kontrolních postupech. Součástí individuálních programů zajištění jakosti pro dodávaná vybraná zařízení však byly Programy kontrol. Obsahovaly soupis kontrol, jejich začlenění v procesech, odkazy na metodiky kontrol, požadavky na prostředí a zkušební zařízení nebo i kritéria pro vyhodnocení výsledků kontrol. Kontroly vykonávali pověření pracovníci s příslušnou kvalifikací na kontrolní činnosti. Doklady o oprávnění pracovníků ke kontrolním činnostem byly uchovávány a archivovány.

Výkon kontroly byl prováděn pracovníky, kteří nebyli bezprostředně závislí ani na osobách, které řídily jimi kontrolovanou oblast, ani na finančních odměnách. Splnění postupových termínů výstavby však ovlivňovalo výši odměn i pro kontrolní pracovníky.

17.1.5.2 Kontrola jakosti návrhu

Činnosti při zpracování návrhu vybraného zařízení se řádně dokumentovaly včetně vyhodnocení a kontroly jinými pracovníky, než kteří návrh provedli nebo se na návrhu přímo podíleli. Tato kontrolní činnost a následná opatření se týkala oblastí (dle Výnosu ČSKAE č. 5/1979, § 18):

- Jaderná bezpečnost.
- Radiační ochrana a možnosti prevence před ozářením.
- Reaktorová fyzika s alternativními výpočtovými programy.
- Namáhání a životnost komponent a systémů důležitých pro jadernou bezpečnost včetně experimentálních programů v modelovém i skutečném měřítku.
- Tepelné, hydraulické, seismické analýzy a rozbory havarijní odezvy.
- Celistvost materiálů, zejména s využitím pro pevnost tlakových nádob a potrubních systémů (např. využití ověřovacích vzorků materiálu tlakové nádoby reaktoru, využití vzorků pro kontrolu korozních úbytků exponovaných tras atd.).
- Přístupnost pro provozní kontroly, možnosti provádění údržby a oprav.
- Zabezpečení požární ochrany, podmínek BOZP, eliminace ohrožení životního prostředí.

17.1.5.3 Kontrola jakosti v období výroby

Kontrola jakosti v období výroby byla jedním z předpokladů pro dosažení požadované jakosti výrobku. Materiály, zařízení a služby byly podle požadavků Výnosu ČSKAE č. 5/1979, § 20, podrobeny kontrole podle schválených individuálních programů zajištění jakosti, včetně vydání a uchovávání osvědčení nebo atestu o souladu s požadavky na dodávku. Tyto dokumenty byly k dispozici na místě výstavby JE Dukovany před zahájením fyzikálního spouštění, obsahovaly konkrétní hodnoty z výsledků kontrolní činnosti i hodnotící kritéria. V případech, kdy zvláštní technologické postupy mohly ovlivnit výsledné vlastnosti materiálu nebo zařízení, byla předem zajištěna možnost provedení dalších zkoušek (na uchovaných svědečných vzorcích).

Kontrola investora ve výrobě nebyla pro dodávky do JE Dukovany nic neobvyklého, neboť byla prováděna již řadu let pro klasickou energetiku na základě dohody z roku 1975 na úrovni generálních ředitelství tehdejších zúčastněných společností. Pro zařízení a činnosti, důležité z hlediska jaderné bezpečnosti, byly určovány a odsouhlaseny kontrolní zádržné body, za kterými nesměl pokračovat výkon činností, pokud investor nebo jím pověřená osoba nepotvrdila souhlas s další činností na protokolu z kontroly tohoto zádržného bodu.

17.1.5.4 Vstupní kontroly

Vstupní kontroly byly uplatňovány ve dvou úrovních:

- Vstupní kontroly dodávek do výrobního závodu.
- Vstupní kontroly dodávek na staveništi.

Kontroly na vstupu do výrobního závodu se týkaly zejména nakupovaného materiálu, polotovarů a dílčích komponent. Každý výrobce vybraného zařízení byl povinen zajistit vlastní kontrolu dodávek, které byly využívány pro výrobu nebo kompletaci daného vybraného zařízení. Kontrolovala se:

- Úplnost dodávky k vybranému zařízení.
- Správnost dodávky k vybranému zařízení podle uzavřené hospodářské smlouvy a příslušné dokumentace.
- Průvodní dokumentace – její správnost a úplnost.
- Identifikace materiálů, dílů a komponent včetně identifikačního označení částí dodávky.
- Stav dodávky po dopravě – neporušenost obalu, konzervace apod.

V některých případech byly zavedeny i vstupní kontroly přímého odběratele v závodě dodavatele. Tato kontrola byla zaměřena na celou jakost dodávky před expedicí, u materiálů a polotovarů na rozměrovou správnost, identifikaci a soulad s průvodní dokumentací i na

mechanické a chemické zkoušky materiálu. U dodávek dílčích výrobků byla tato kontrola zaměřena na funkční zkoušky. Pokud se odběratel materiálu, polotovarů a dílčích výrobků nepřesvědčil o správnosti údajů v příslušné dokumentaci, musel vlastními prostředky ověřit soulad s požadavky na vzorcích odebraných z dodávky. Při zjištění nedostatků byl další postup odběratele řízen podle zásad pro reklamaci vady v jakosti dodávky.

Vstupní kontroly dodávek na staveništi probíhaly v případě dodávek materiálu, polotovarů a jednotlivých kusů dílčích výrobků, určených pro vybraná zařízení, stejným způsobem jako při dodávkách do výrobního závodu a to i v případech, že příslušné dodávky byly na základě kladných výsledků vstupní kontroly uskladněny ve výrobním závodě dodavatele systému nebo stavební konstrukce, protože bylo nutné vyloučit záměny materiálu, možnost omylu nebo použití nekvalitního výrobku a materiálu. Tuto kontrolu na staveništi prováděl příslušný dodavatel montáže nebo stavebních prací a byl za ni odpovědný finálnímu dodavateli. Tyto kontroly byly zaměřeny na:

- Úplnost dodávky k vybranému zařízení.
- Neporušenost dodávaného zařízení (dle stavu po dopravě).
- Neporušenost konzervace a vnějších povrchových úprav.
- Stav obalu a jeho použitelnost pro uskladnění na místě stavby.
- Úplnost a správnost průvodní dokumentace.
- Označení dodaného zařízení.
- Vnitřní čistotu zařízení (byla-li úroveň čistoty k vybranému zařízení předepsána).
- Namátkovou kontrolu vnitřních vad materiálu nedestruktivními kontrolami (pro kusové dodávky vybraného zařízení pro finálního dodavatele).

Za určitých okolností mohl finální dodavatel, investor nebo generální dodavatel provést rozšířenou vstupní kontrolu při dodávce na stavbu. Rozsah a způsob kontroly dohodli účastníci výstavby mezi sebou a přizvali zástupce dodavatele předmětného vybraného zařízení, aby se předem vyloučily diskuse a spory o výsledcích nebo o správnosti provedené kontroly a také, aby byly plněny výhrady dodavatelů, týkající se manipulace se zařízením z hlediska platnosti záruk. Rozšířený rozsah kontrol se týkal i některých dodávek ze zahraničí, u kterých nebylo možné provést ověření ve výrobním závodě.

17.1.5.5 Kontrola jakosti v období stavebních prací a montáže

Při provádění prací na místě výstavby bylo respektováno dvojí ustanovení právních předpisů, pokud se týkalo kontroly, resp. dozoru investora. Kontrolu prováděli pracovníci specializovaných útvarů řízení jakosti organizací účastníků výstavby. Dozor prováděly osoby, které zajišťovaly vlastní technické činnosti investora.

Na základě rozboru činností investorské kontroly byly v období výstavby u investora obě složky kontrol sloučeny – jednalo se o odchylku. Příslušní pracovníci získali k těmto činnostem pověření a jejich jména byla oznámena stavebnímu úřadu, generálnímu projektantu, přímým dodavatelům i financující pobočce SBČS. Aby se kvalitativně odlišily činnosti obou organizačních složek, došlo k rozdělení kontrolních činností následujícím způsobem:

- Pracovníci kontroly útvaru řízení jakosti investora zaměřili své kontrolní činnosti na nejdůležitější zařízení, komponenty a systémy (vybraná zařízení), kromě toho prováděli specializované činnosti z oblasti materiálové kontroly, vyžádané technickým dozorem investora.
- Technický dozor investora prováděl kontrolu dodavatelů podle specifických vlastností příslušné dodávky a současně kontroloval všeobecné podmínky a požadavky zajištění jakosti dodávky, např. soulad dodávky s požadavky projektu a podle technických podmínek, norem, dodržení čistoty vnitřních povrchů, konzervace, předepsané povrchové úpravy, manipulace se zařízením apod.

Problémy, které vznikaly při řešení opatření podle výsledků kontrol, musely být řešeny operativně vzájemným jednáním příslušných účastníků výstavby nebo na pravidelných poradách jejich vedoucích kontrolních útvarů včetně zápisů nebo záznamů o výsledcích jednání a dohodnutých opatřeních.

V období stavebních a montážních prací spadá pod kontroly jakosti také kontrola jakosti uskladnění výrobků a zařízení. Pokud byl výrobek před montáží delší dobu skladován, musel

být podroben ještě před montáží podrobné kontrole, zda nedošlo ke snížení některého jakostního ukazatele. Tuto činnost zajišťoval příslušný dodavatel montáže. Vyšší dodavatel nebo investor pouze kontrolovali, zda tato činnost byla zajištěna a s jakými výsledky. Tato zásada nevylučovala možnost namátkové a hlubší kontroly příslušného montovaného dílu kontrolními pracovníky investora.

17.1.5.6 Kontrola jakosti v období přípravy spouštění a při komplexním vyzkoušení

Generální dodavatel technologie (Škoda Plzeň) zavedl pro předávací zkoušky předkomplexní a komplexní vyzkoušení. Předkomplexním vyzkoušením se rozuměly zkoušky pod napětím v příslušném provozním souboru, zkoušky zařízení s příslušným médiem, provedení funkčních zkoušek a kontrola vzájemných vazeb jednotlivých zařízení, zkoušky a seřizování zařízení k umožnění funkce a plného výkonu příslušného provozního souboru, popř. následujícího provozního souboru. Komplexním vyzkoušením se rozumělo fyzikální a energetické spouštění a 144 hodinový zkušební průkazný chod na jmenovitém výkonu.

Toto opatření bylo doplněno usnesením předsednictva vlády ČSSR, podle kterého zajišťoval výkon spouštění provozovatel jaderné elektrárny ve spolupráci s Výzkumným ústavem jaderných elektráren (VÚJE), Jaslovské Bohunice a generální dodavatel technologické části Škoda Plzeň. Při přípravě a uvedení jaderně energetických bloků do provozu bylo nutné primárně respektovat specifické požadavky z hlediska jaderné bezpečnosti.

Kontrolní činnosti, prováděné v období přípravy ke spouštění, navazovaly na vlastní montáže a kontroly dokončení montážních prací na jednotlivých vybraných zařízení. U stavebních dodávek byla předávána dokončená část budovy nebo celá budova s provedenými zkouškami. Pro hlavní výrobní blok se jednalo o úspěšný výsledek integrální tlakové a těsnostní zkoušky hermetické obálky (kontejnmentu), které předcházely individuální nebo dílčí těsnostní zkoušky zabudovaných částí nebo zařízení do této obálky.

K rozsáhlým nebo složitým dokladům byla povinnost připravit přehledy a vyhodnocení. Po provedení zkoušky investor připravil:

- Zprávu svého technického dozoru, obsahující rozbor, jak odpovídají provedené práce schválené projektové dokumentaci, smluveným podmínkám, technickým normám a příslušným předpisům;
- Vyhodnocení zkoušek, které byly provedeny, včetně svého stanoviska, pokud již nebylo uvedeno v montážním deníku a návrhy na zkoušky, které mají být ještě provedeny do doby odevzdání zařízení do provozu.

Dodávka byla považována za vadnou, pokud nesplňovala vlastnosti stanovené v tehdy platném hospodářském zákoníku a nebyla-li provedena podle schválené projektové dokumentace. Drobné odchylky nebyly vadami, pokud byly dohodnuty souhlasným zápisem ve stavebním deníku; odchylky však musel dodavatel vyznačit v projektové dokumentaci. Soupis vad v jakosti a nedodělků proti závazné projektové dokumentaci byly součástí vyhodnocení, které připravoval investor v období přípravy ke spouštění.

Kontrolu připravenosti jaderně energetického zařízení k fyzikálnímu spouštění provedly a dokladovaly organizace stavebníka a inspekční skupina ČSKAE. Rovněž zavezení jaderného paliva, které je samostatnou částí fyzikálního spouštění, bylo provedeno a nadále je prováděno za účasti pověřeného pracovníka státního dozoru ke kontrole zavezení aktivní zóny jaderného reaktoru.

17.1.6 Zajištění jakosti dodávek a výstavby

17.1.6.1 Nakupování materiálů, zařízení a služeb

Při nakupování materiálů, zařízení a služeb v období výstavby a uvádění jaderného zařízení do provozu byly použity postupy, vycházející z praktických zkušeností a využívání dodavatelsko-odběratelských vztahů. Tato činnost byla přísně plánována na bilančních jednáních pro upřesňování dlouhodobých i krátkodobých plánů u určených dodavatelů. Zásady pro zpracování objednávek, uzavírání hospodářských smluv, kontrolu přebíraných dodávek, jejich uskladnění u finálního výrobce nebo na stavbě podle plánu organizace

výstavby měly zavedené formy uplatňovaného a plánovitého hospodaření ČSSR. Plnění aspektů jakosti pro vybraná zařízení bylo podmíněno požadavky smlouvy a požadavků z individuálních programů zajištění jakosti.

Požadavkem zajištění jakosti při nakupování bylo zejména zaměření na programy a plány kontrol a zkoušek a jejich plnění v etapách výroby, instalace, montáže a dílčího vyzkoušení stavebních a strojních celků včetně jejich elektročástí, nebo zařízení k měření a regulaci.

Hodnocení dodavatelů v době plánovitého hospodářství se provádělo podle celkového podílu organizace na plnění pětiletého plánu výrobně hospodářské jednotky. Individuální hodnocení dodavatele podle předmětu hospodářských smluv se neprovádělo. Důležitým kritériem byl termín plnění hospodářské smlouvy, jakost výrobku podle předmětu smlouvy, způsoby a rychlost odstraňování vad nebo nedodělků podle výsledků kontroly materiálů, zařízení nebo služeb. I v této oblasti převládal technický a odborný přístup jednotlivých osob na zajišťování jakosti dodávek, které byly ovlivňovány činnostmi při nakupování.

17.1.6.2 Identifikace a sledovatelnost materiálů, zařízení a služeb

Postupy pro identifikaci materiálu, zařízení a služeb pomáhaly jednak k rozlišení stavu položek pro období inventur, jednak k přesné znalosti stavu jakosti příslušné položky podle dokladovaných znaků jakosti v uchovávaných záznamech. Účelem používaných opatření bylo zabránit použití nesprávných nebo vadných dodávek a zajistit, že identifikace dodávky (číslem vsázky, číslem zařízení, série nebo jiného označení) bude zachována, buď přímo na dodávce, nebo na průvodkách, které položky doprovází s možností kontroly nebo ověřování v průběhu výroby, montáže, výstavby nebo při provozu (používání).

Zásadou postupu pro identifikaci položky bylo, aby označení bylo čitelné i jednoznačné a také, aby způsob a umístění označení neovlivnil funkci a jakost dodané položky. Povinností pracovníků, odpovědných za procesy ve výstavbě, bylo využívat a kontrolovat plnění postupů pro identifikaci materiálu, zařízení a služeb v celém průběhu, za který byli odpovědni, a zajistit způsoby udržení jejich identifikace i při předání položek k navazujícím činnostem a odpovědným osobám. Zásady identifikace se vztahovaly i na náhradní díly a materiály.

Opatření ke sledování položky se týkalo důležitých materiálů, zařízení a celků pro určování stavu stárnutí pro zachování pevnostních, funkčních a bezpečnostních vlastností položky, na upřesňování a vyhodnocení doby její zbytkové technické životnosti (zahrnující výrobu polotovarů, částí, průběh instalace, měření a zkoušek zařízení a zejména období provozu). Sledovatelnost položek byl nezbytný a pokračující proces pro zajištění jakosti těchto položek při jejich návazném provozu. Identifikační záznamy a související dokumentace musely být pro tyto účely zachovány během celého procesu výstavby a nyní během provozu.

17.1.6.3 Řízení zvláštních procesů[66]

Zvláštní procesy (svařování, tepelné zpracování nedestruktivní zkoušení a další, u kterých se výsledky nemohou plně ověřovat následnou kontrolou a zkoušením) měly stanovena kvalifikační kritéria a těmto kritériím musely vyhovovat, což potvrzují záznamy v průvodní dokumentaci. Dodavatel vycházel z pokynů, uvedených v IPZJ, technických podmínkách, normách a vnitropodnikových postupech.

Opatření měla zajistit provádění činností ve zvláštních procesech kvalifikovanými osobami podle postupů ve shodě s příslušnými předpisy nebo specifickými požadavky. Zároveň bylo určeno, jak zajistit v těchto procesech stálé udržování kvalifikace personálu a odpovídajícího výrobního nebo zkušebního zařízení, včetně způsobu uchovávání záznamů o provádění a kontrole činností zvláštních procesů.

[66] Tvorba software byla v době výstavby JE Dukovany v počátcích, nepatřila mezi zvláštní procesy, v řízení zařízení JE Dukovany se využilo analogových prvků a soustav se zálohováním důležitých komponent. Zařízení výpočetní techniky se využívalo pouze k registrování činnosti automatického řízení výkonu reaktoru a zásahů obsluhy.

17.1.6.4 Řízení kontrolního, měřícího a zkušebního zařízení

Základním předpokladem pro zajištění správných výsledků měření, kontrol a zkoušek bylo dodržování předpisu o metrologii, platném v době výstavby. Navazoval na zákon o technické normalizaci č. 96/1964 Sb. V návaznosti na tyto předpisy měli jednotliví účastníci výstavby zpracované Metrologické řády. Podle metrologických postupů udržovali a používali měřidla, kontrolní a zkušební zařízení takovým způsobem, který zajišťoval, že nejistota měření byla známá a odpovídala stanoveným požadavkům.

V organizacích, které se účastnily výstavby, byla normalizační základna a aplikace postupů k řízení kontrolního, měřícího a zkušebního zařízení velmi rozvinutá a dodržovaná. Dodavatel zařízení uplatňoval následující postupy podle důležitosti zařízení zařazeného do provozních souborů a bezpečnostních tříd vybraného zařízení:

- Určoval požadované druhy měření, stanovoval jejich přesnost a k tomu odpovídající kontrolní a zkušební zařízení.
- Zabezpečoval kalibraci kontrolních a zkušebních zařízení a ověření měřidel.
- Označoval měřidla, kontrolní a zkušební zařízení vhodnou značkou a udržoval záznamy o kalibraci v kartách těchto měřidel a zařízení.
- Udržoval interní předpis k metrologickému řádu.

Při provádění vstupních kontrol u subdodavatele nebo dodavatele v místě výroby zařízení, měl kontrolní pracovník odběratele povinnost ověřit dodržování metrologické disciplíny a platnost používaných měřidel. Případné nesrovnalosti byly uvedeny v protokole o provedených kontrolách nebo v zápise o neshodách při měření.

17.1.6.5 Manipulace, skladování a doprava

Dodavatelé zavedli pokyny a pravidla pro manipulaci, skladování, dopravu materiálů a částí zařízení, konstrukcí a komponent. Předpisy uplatňovali jak v místě výrobního závodu, tak na stavbě JE Dukovany. Postupy ukládaly, že se nakládalo se zařízením nebo materiálem při jeho manipulaci, dopravě a skladování takovým způsobem, aby se zabránilo jejich poškození nebo se zabránilo snížení jakostních a funkčních vlastností. Pro vybraná zařízení byly tyto požadavky upřesňované v individuálních programech zajištění jakosti.

V případě složitých manipulačních operací na stavbě musely být navrženy, vyrobeny a odzkoušeny specifická nebo jednoúčelová manipulační zařízení. Postupy pro skladování respektovaly požadavky na bezpečnost práce, na způsob ukládání, vyznačování nosnosti regálů, dodržování pořádku ve skladech a zabezpečení snadné přístupnosti k jednotlivým položkám, jejich evidenci tak, aby nedošlo k záměně za jiný druh zařízení nebo materiál jiné kvality.

V období skladování prováděli pracovníci technické kontroly dodavatele předepsané kontroly podle průvodní dokumentace. Kontrola se týkala stavu zařízení, jeho konzervace, jakosti povrchové úpravy, čistoty povrchů apod. Záznam o kontrole se stal součástí průvodní dokumentace.

17.1.6.6 Stav po kontrole a zkouškách

U materiálů a dílů vybraných zařízení, které nevyhověly požadavkům, muselo být spolehlivě vyloučeno jejich nesprávné použití a určena odpovědnost za disponování s díly, které neodpovídaly stanoveným požadavkům. Zjišťování stavu výrobku, zařízení, materiálu apod. po kontrole a zkouškách u příslušného dodavatele nebo při výstavbě JE Dukovany mělo zajistit:

- Určení stavu výrobku včetně shody s průvodní dokumentací, v které byly zahrnuty výsledky zkoušek.
- Zajistit, aby byl výrobek řádně identifikován podle shody nebo neshody výsledku po kontrolních operacích nebo v průběhu prací na něm, při které kontrolní pracovník zjistil neshodu a výrobek nebo zařízení nebylo možné v rámci běžných postupů a kritérií kontroly bezprostředně opravit v rámci předepsaných tolerancí.

Stav výrobku byl takto vždy zjistitelný podle potřebných údajů, které se k němu vztahovaly.

17.1.6.7 Neshodné materiály, části a komponenty

Uvolnění výrobku pro další činnosti (výrobní, montážní, zkušební) rozhodoval odpovědný pracovník nebo skupina pracovníků příslušného dodavatele, resp. i ostatních účastníků výstavby, pokud se jednalo o předání v rámci rozhraní pracovních činností různých dodavatelů nebo od dodavatele k investorovi. Uvolnění výrobku muselo být řádně zaznamenáno a zdůvodněno, přičemž byly respektovány zásady schvalování odchylek proti příslušné výrobní nebo montážní dokumentaci i ve vztahu k požadované jakosti výrobku nebo celku. V případě zjištění závady u části zařízení, potrubí nebo jednoho výrobku z většího množství používaných kusů, kde rozsah kontroly byl stanoven menší než 100%, muselo být přistoupeno k rozšíření těchto kontrol, zda se závady také neopakují u dosud nekontrolovaných výrobků nebo materiálů.

Pokud byla na výrobku zjištěna vada nebo nesoulad s dokumentací, bylo k tomu do doby řádného vyhodnocení možných důsledkům této vady nebo jejího rozvoje odpovědným pracovníkem (obvykle kontrolorem) dodavatele přihlíženo ve smyslu nejnepříznivějšího vlivu, než byla provedena a potvrzena odpovídající opatření.

17.1.6.8 Nápravná opatření

Nápravné opatření je opatření k odstranění zjištěné neshody k zamezení jejího opakování nebo odstranění jiné nežádoucí situace. V době výstavby JE Dukovany byly nesoulady (neshody) označovány za vady nebo nedostatky a řešeny operativně v průběhu návrhového, výrobního nebo montážního postupu.

Pokud se jednalo o dodavatelsko-odběratelské vztahy, byly tyto vady a nedostatky řešeny podle usnesení nebo zápisu z jednání účastníků výstavby, na které se řešení nebo důsledky neshod vztahovaly. Tato jednání probíhala pravidelně, realizace přijatých opatření se plánovala a výsledky se kontrolovaly a dokladovaly. V závažných případech, pokud mohlo dojít k ohrožení jaderné bezpečnosti, byl informován příslušný inspektor státního dozoru – ČSKAE, podle zavedených postupů a oznamování významných neshod.

17.1.7 Záznamy o jakosti

Záznamy o jakosti (dokumentace o jakosti) jsou dokumenty, v nichž jsou uvedeny dosažené výsledky nebo se poskytují důkazy o provedených činnostech.

Řízení záznamů podléhalo zásadám o řízení dokumentace. Postupy zahrnovaly označování, třídění, sběr, nezbytný obsah pro tvorbu záznamů, způsoby nebo komentáře k vyplňování formulářů, zjišťování úplnosti a správnosti záznamů, postup jejich schvalování, způsob a dobu uložení záznamů na pracovních místech nebo archivech, vedení evidence a uchovávání konkrétních záznamů, distribuci a ochranu proti neoprávněnému zacházení nebo jinému znehodnocení záznamů.

Byly odlišeny dva druhy záznamů:

- Trvalé[67], tedy záznamy o podstatných skutečnostech, týkajících se stavu technického zařízení od procesu výroby po jeho provoz.
- Dočasné; mají pouze časově omezený význam pro účastníky výstavby.

Jednotlivé záznamy byly značně rozdílné, proto byly dodavatelem tříděny a přiřazovány do složek prvotní dokumentace podle výrobku nebo zakázky. Důležité záznamy byly doplňovány do průvodní dokumentace dodávky podle smluvního ujednání s odběratelem.

[67] Archivní dokument je uložen po celou dobu životnosti JE Dukovany, lze jej používat ke studijním účelům ve studovně archívu.

17.2 Zajištění jakosti během provozu

Zajištění jakosti provozu JE Dukovany navazují na popis činností zajištění jakosti v průběhu projektování, výstavby a spouštění a sdělují nové poznatky a podrobnosti o řízení provozu JE Dukovany. Integrovaný systém řízení společnosti ČEZ, a. s., zabezpečuje, že každý proces, ovlivňující jadernou bezpečnost a radiační ochranu, má přiřazeny požadavky vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd, a tyto jsou plněny.

V následujícím textu kapitoly 17.2 jsou vybrány pouze ty položky integrovaného systému řízení, které mají relevanci ve vztahu k provozování JE Dukovany.

17.2.1 Integrovaný systém řízení

Implementace požadavků výše uvedené vyhlášky je provedena prostřednictvím integrovaného systému řízení, který je zaveden pro následující povolované činnosti dle zákona č. 18/1997 Sb. (Atomový zákon):

- Provoz jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. Kategorie.
- Opětovné uvedení jaderného reaktoru do kritického stavu po výměně jaderného paliva.
- Provádění rekonstrukce nebo jiných změn ovlivňujících jadernou bezpečnost, radiační ochranu, fyzickou ostrahu a havarijní připravenost jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. Kategorie.
- Nakládání s radioaktivními odpady v rozsahu a způsoby stanovenými prováděcím předpisem.
- Odborná příprava vybraných pracovníků.

Dotčené základní oblasti řízení, kde probíhají výše uvedené povolované činnosti, jsou tyto:

- B – Bezpečnost.
- N – Nákup a prodej.
- P – Personalistika.
- R – Řízení a správa.
- V – Výroba.
- I – Inženýring.

Integrovaný systém řízení je udržován a trvale zlepšován s cílem integrace oblastí řízení při zohlednění všech relevantních (vnějších i vnitřních) požadavků, přičemž ale bezpečnostní požadavky vždy (zejména v oblastech s identifikovaným vlivem na jadernou bezpečnost a radiační ochranu) zohledňuje jako první. Hlavním cílem Integrovaného systému řízení je plnění strategických cílů společnosti, střednědobých i ročních zadání, poskytování zpětné vazby vrcholovému managementu a dalších nástrojů k trvalému zlepšování.

17.2.1.1 Všeobecné požadavky na integrovaný systém řízení

Společnost ČEZ, a. s., má zavedený, dokumentovaný, uplatňovaný, udržovaný a hodnocený systém řízení, který neustále zlepšuje za účelem zvyšování bezpečnosti, kvality a ochrany životního prostředí. Systém řízení společnosti ČEZ, a. s., je orientován na použití a rozšiřování procesního přístupu k řízení a sestává ze základních oblastí řízení, oblastí řízení a procesů.

Základní oblasti řízení jsou logicky rozčleněny do skupin – oblastí řízení. Ke každé oblasti řízení je garantem základní oblasti řízení stanoven garant oblasti řízení. Garanti základních oblastí řízení jsou většinou členy strategického managementu ČEZ, a. s., v liniové struktuře řízení.

Systém řízení ve společnosti ČEZ, a. s., je podrobněji popsán v řídicí a pracovní dokumentaci, která tvoří provázanou soustavu. V systému dokumentace je obsažen popis plánovaných a systematických činností nezbytných pro zajištění přiměřené důvěry, že jsou požadavky na řízení splněny.

V případě, kdy splnění některých úkolů nebo výkon některých procesů (činností) nelze z časových nebo jiných důvodů zabezpečit standardní dělbou práce mezi útvary nebo kdy je to efektivnější oproti ostatním formám řízení, uplatňuje se projektové řízení. Projektové řízení je časově omezeno. Řídicí vztahy jsou pak identifikovány ve specifických řídicích a pracovních dokumentech pro příslušný projekt.

Zavedený systém jakosti společnosti ČEZ, a. s. (držitel povolení) zabezpečuje, že každý proces ovlivňující jadernou bezpečnost nebo radiační ochranu, který je součástí základní oblasti řízení resp. oblasti řízení, má přiřazeny požadavky dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb a tyto jsou plněny. Tento systém je popsán v závazné řídicí a pracovní dokumentaci systému jakosti (směrnice, postupy, metodiky a ostatní pracovní dokumentace).

17.2.1.2 Bezpečnost v integrovaném systému řízení ČEZ, a. s.

Ve společnosti ČEZ, a. s., má bezpečnost v systému řízení klíčovou roli. Požadavky bezpečnosti jsou vždy naplňovány na prvním místě proti jiným požadavkům, samozřejmě s přihlédnutím k adekvátnosti vynaložených nákladů a k míře rizika. V každoročně vydávaném nařízení představenstva k ročním úkolům jsou uplatněny prvky bezpečnosti v části strategické priority.

Dokumenty, které slouží k řízení bezpečnosti, jsou závazné pro všechny zaměstnance ČEZ, a. s. a po smluvním uplatnění i pro zaměstnance dodavatelů při činnostech na zařízeních ČEZ, a. s. Jsou v nich uvedeny principy, identifikující obecné cíle, a základní principy bezpečnosti, které jsou dodržovány v ČEZ, a. s.

17.2.1.3 Aplikace externích předpisů a norem v integrovaném systému řízení ČEZ, a. s.

Ve společnosti ČEZ, a. s., jsou integrovány do systému řízení zákonné požadavky, přijaté požadavky norem, standardů, návodů a jiných specifikací na oblast bezpečnosti, kvality a ochrany formou řídicích dokumentů a formou bezpečnostních standardů. Každý garant dokumentu uplatňuje relevantní požadavky do svého dokumentu přímo ze zákonného nebo normativního požadavku a/nebo využije rozpracované požadavky ze standardu nebo řídicího dokumentu ČEZ, a. s. Základní oblasti řízení B, P, R a V obsahují procesy, jejichž produktem jsou přetransformované požadavky právních předpisů do prostředí společnosti ČEZ, a. s.

V případě, že je potřebné určit požadavky pro dceřiné společnosti nebo smluvní partnery, jsou tyto požadavky obsaženy ve vzájemně odsouhlasených společných dokumentech Skupiny ČEZ nebo ve sdílených dokumentech (dokumenty právního subjektu, které jsou závazné pro jiný právní subjekt na základě smluvního vztahu uzavřeného mezi těmito právními subjekty). Dále jsou určené normativní požadavky na dodavatele uplatňovány v procesech nákupu.

17.2.1.4 Dokladování plnění požadavků na integrovaný systém řízení ČEZ, a. s.

Prokazatelné plnění je dokladováno buď příslušnými záznamy, nebo jinými dokumentačními výstupy. Vždy je možné provést hodnocení plnění požadavků předvedením činností hodnotiteli ve shodě s dokumenty systému řízení ČEZ, a. s. U bezpečnostně významných procesů je vždy vyžadováno dokumentování stavu bezpečnostně významných položek do přiměřené míry podrobnosti. V řídicích a pracovních dokumentech ČEZ, a. s., jsou popsány procesy a činnosti tak, aby bylo možné dokladovat jejich nastavení v souladu s legislativními a přijatými požadavky. Jak jsou práce vykonávány, je možné zhodnotit přezkoumáním záznamů a dokumentačních výstupů a/nebo hodnocením.

17.2.2 Kultura bezpečnosti

Kultura bezpečnosti je zakomponována v integrovaném systému řízení ČEZ, a. s., jako jeden z nástrojů k dosažení trvale vysoké úrovně bezpečnosti. Při tom jsou dodržovány následující zásady:

- S principy a klíčovými aspekty kultury bezpečnosti jsou zaměstnanci i dodavatelé seznamováni v rámci základní přípravy i dalších vzdělávacích aktivit (školení, stáže, kurzy, výcvik aj.) Periodické školení všech vedoucích zaměstnanců k bezpečnosti a kvalitě je předepsáno kvalifikačními požadavky, přičemž v rámci tohoto školení je významná část věnována principům a požadavkům týkajícím se kultury bezpečnosti.
- ČEZ, a. s., se zaměřuje na prevenci selhání člověka při bezpečném a úspěšném provádění úkolů, zohledňující vzájemnou interakci mezi jednotlivci, technologiemi a procesy. Na jaderných elektrárnách jsou proto implementovány programy zlepšení kvality lidského výkonu.
- Úroveň kultury bezpečnosti v ČEZ, a. s., je hodnocena opakovanými průzkumy, pro jaderné aktivity je zároveň kultura bezpečnosti externě hodnocena např. v rámci misí OSART, resp. WANO. Výsledky hodnocení kultury bezpečnosti vytváří žádoucí zpětnou vazbu pro všechny úrovně managementu.
- V Politice bezpečnosti a ochrany životního prostředí Skupiny ČEZ je zdůrazněno očekávání vrcholového vedení společnosti k využívání znalostí a získávaných zkušenosti k trvalému zlepšování (charakteristiky učící se společnosti) na všech úrovních.
- Vzhledem k návaznosti kultury bezpečnosti na firemní kulturu ČEZ, a. s., je zvyšování kultury bezpečnosti podporováno i aktivitami zaměřenými na zlepšování firemní kultury.

17.2.3 Odstupňovaný přístup

Ve společnosti je zaveden tzv. „odstupňovaný přístup“. U některých položek je odstupňovaný přístup zaveden na základě požadavku legislativy. U některých položek je odstupňovaný přístup zaveden na základě projektových přístupů a/nebo je obsažen v příslušných relevantních použitých normách. Odstupňovaný přístup zohledňuje:

- Přiměřené zdroje na základě zvážení významu a složitosti položky.
- Rizika a rozsah případného dopadu na bezpečnost, zdraví a životní prostředí.
- Složitost procesu, činnosti, jejich vstupů a výstupů a jejich význam z hlediska jaderné bezpečnosti.
- Klasifikaci a evidenci zdrojů ionizujícího záření, způsob nakládání s nimi a kategorie pracoviště, na kterém se vykonávají radiační činnosti.
- Způsob nakládání s jadernými materiály a s radioaktivními odpady stanovený právním předpisem.
- Zařazení vybraných zařízení do bezpečnostních tříd (do seznamu vybraného zařízení včetně seznamu vybraného zařízení speciálně navrhovaného).

Odstupňovaný přístup v ČEZ, a. s., není v rozporu s požadavkem na „konzervativní přístup“. V případech, kdy vznikla (byla zjištěna) neshoda s dopadem na jadernou bezpečnost, radiační ochranu, fyzickou ostrahu nebo havarijní připravenost, se vždy postupuje tak, aby byla minimalizována rizika a to i za cenu případných ekonomických ztrát.

Ve společnosti je odstupňovaný přístup zaveden napříč jadernými aktivitami a to zejména v základních oblasti řízení „V“:

- Klasifikace komponent a systémů.
- Přístupy v provozní dokumentaci.
- Provozní režimy.
- Limity a podmínky.

V základní oblasti řízení „B“:

- Různé úrovně kontroly, dohledu a přezkoumání.
- Kategorizace (např. odpadů).
- Uplatnění principu ALARA.
- Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti.
- Další opatření ke kvantifikaci rizika a následné řízení činností tak, aby bylo riziko tak nízké, jak je rozumné.

V základní oblasti řízení „R“:

- Strategická rozhodnutí společnosti.
- Systémová nastavení řízení společnosti.
- Různé úrovně přezkoumání, kontrol a hodnocení.
- Organizace a hodnocení organizačních změn.
- Vyšší intenzita komunikace o bezpečnostně významných položkách.

V základní oblasti řízení „I“:

- Design basis.
- Úrovně přezkoumání a nezávislých hodnocení.
- Zvýšená podpora inženýringu u bezpečnostně významných položek.
- Použití moderních technologií.

V základní oblasti řízení „P“:

- Zvýšené požadavky na způsobilost pracovníků.
- Zvýšené požadavky na hodnocení pracovníků.

V základní oblasti řízení „N“:

- Zvýšené požadavky na dodavatele, na jejich hodnocení a prověřování.
- Zvýšené požadavky na kontroly u dodavatele.
- Přenos zvýšených požadavků na nakupované položky do smluv a ostatní dokumentace nákupu.

17.2.4 Dokumentace systému řízení

17.2.4.1 Soustava dokumentů

Soustava dokumentů svou strukturou a členěním na skupiny a typy dokumentů podporuje požadavky systému řízení na dokumentování a popis prvků, úrovní a forem řízení v ČEZ, a. s., popis funkčních povinností, odpovědností a pravomocí, liniové struktury společnosti a zajištění efektivního plánování, realizace a řízení procesů a činností. Dále tato soustava dokumentů respektuje požadavky norem ČSN EN ISO 9001:2009, ČSN EN ISO 14001:2005 a vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb.

17.2.4.2 Identifikace a forma dokumentů

Dokumentaci systému řízení tvoří dokumenty, které jsou jednoznačně a snadno identifikovatelné (každý dokument má svůj jedinečný identifikační kód) a dostupné v místě použití (distribuovaný řízený výtisk nebo elektronická podoba dokumentu přístupná pro všechny dotčené uživatele). Všechny dokumenty mají stanoveny závazné šablony, které určují strukturu a obsah jednotlivých kapitol dokumentů, formální náležitosti dokumentů i jejich grafickou podobu. Tím jsou vytvářeny podmínky pro to, aby dokumenty byly přehledné a všem srozumitelné.

17.2.5 Zodpovědnost managementu

17.2.5.1 Závazek managementu

Strategický management se zavázal k zavedení, udržování, hodnocení a k neustálému zlepšování systému řízení bezpečnosti, ochrany životního prostředí a kvality. Za účelem vytvoření rámcových podmínek v oblasti bezpečnosti a k naplnění poslání a podnikatelských záměrů Skupiny ČEZ byla vydána Politika bezpečnosti a ochrany životního prostředí. Pro vytvoření rámcových podmínek pro řízení a k naplnění poslání a podnikatelských záměrů Skupiny ČEZ byla vydána Politika kvality řízení.

V politikách jsou uplatněny principy spokojenosti zákazníka, splnění potřeb a očekávání veřejnosti, včetně dodržování platné legislativy a mezinárodních závazků ČR. Politiky jsou přístupné všem zaměstnancům na Intranetu Skupiny ČEZ a je zároveň distribuován určeným zaměstnancům v rámci systému prokazatelného seznamování. V těchto dokumentech představenstvo přijímá závazek (v souladu s platnou legislativou a mezinárodními závazky) zajistit:

- Bezpečnost výrobních zdrojů společnosti.
- Ochranu jednotlivců, společnosti a veřejnosti.
- Ochranu životního prostředí.
- Jakost (kvalitu).

Pro naplnění výše uvedeného závazku se dále představenstvo zavazuje rozvíjet odpovídající podmínky a dostatečné lidské a finanční zdroje, účinné řídicí struktury a kontrolní mechanismy.

17.2.5.2 Firemní kultura

Firemní kultura ČEZ vychází ze strategie společnosti a vyjadřuje jednotnou platformu pro společné sdílení základních firemních hodnot, z nichž jsou odvozeny veškeré zásady, normy a vzorce očekávaného chování. Významným nástrojem, který podporuje dosahování stanovených náročných cílů, je sedm firemních principů, které vyjadřují povahu, filozofii a přístup ke všem aktivitám a činnostem. Určují způsob výkladu každého rozhodnutí, příkazu, či nařízení. Určují také chování směrem k zaměstnancům, zákazníkům i obchodním partnerům.

Hlavní principy firemní kultury (7 principů) jsou ve společnosti sdělovány následovně:

- Nejvyšší prioritou je vytváření hodnoty, a to vždy při zachování bezpečnosti (bezpečně tvoříme hodnoty).
- Všichni osobně zodpovídáme za dosažení výsledků (zodpovídáme za výsledky).
- Jednání každého z nás musí vést k prospěchu Skupiny ČEZ (jsme jeden tým).
- Neustále pracujeme na svém odborném i osobnostním rozvoji (pracujeme na sobě).
- Vytváříme mezinárodní společnost (rosteme za hranice).
- Jsme otevřeni změnám a přijímáme lepší řešení (hledáme nová řešení).
- Jsme poctiví a loajální k našim principům a společnosti (jednáme fér).

Plnění těchto principů je součástí hodnocení zaměstnanců se smluvní i tarifní mzdou. Na sedm principů navazují i pravidla oceňování zaměstnanců. Pro zaměstnance společnosti jsou zajišťovány aktivity k rozvoji a prohlubování žádoucího pracovního chování. Dále jsou pořádány informační a komunikační kampaně na podporu chování zaměstnanců v souladu se sedmi principy. Na základě výstupů z pracovních setkání se zaměstnanci jsou definovány akční plány a konkrétní úkoly vedoucí k rozvoji firemní kultury žádoucím směrem.

17.2.5.3 Prostředky řízení

Způsob řízení je popsán v souboru řídicích dokumentů společnosti ČEZ, a. s., postupně zpracovávaných podle zásad procesního řízení. Těmito dokumenty jsou definovány kontrolní mechanismy a stanovovány ukazatele pro hodnocení. V rámci liniového a procesního řízení vedoucí zaměstnanci řídí a kontrolují své podřízené a ukládají jim úkoly. Závazné pokyny týkající se bezpečnosti jsou písemně zaznamenány a jsou vysledovatelné.

Přezkoumávání systémů řízení se provádí v pravidelných intervalech na dvou úrovních, a to na úrovni certifikované oblasti řízení (životní prostředí a BOZP) a na úrovni společnosti ČEZ, a. s., pro oblast integrovaného systému řízení. Součástí přezkoumání je i přezkoumání politik a cílů.

17.2.6 Uspokojení zainteresovaných stran

17.2.6.1 Regulující orgány a ostatní zainteresované strany

Ve vztahu k bezpečnosti a ochraně jsou nejdůležitější ty zainteresované strany, které stanovují zákonné požadavky a doporučení, tj. regulující orgány. Systém řízení ČEZ, a. s., je nastaven tak, aby všechny zákonné požadavky byly uplatněny a všechna doporučení byla zvažována a případně uplatněna. Regulující orgány implementují požadavky nejdůležitější zainteresované strany, veřejnosti, do legislativy státní a vyšších celků (např. EU).

ČEZ, a. s., vždy zvažuje požadavky ostatních zainteresovaných stran a k tomu má tyto další systémové nástroje:

- Procesy, které transformují požadavky vnějších předpisů do dokumentů ČEZ, a. s.
- Proces mezinárodní vztahy
- Systém poskytování informací médiím ve Skupině ČEZ
- Požadavek účinné komunikace a informovanosti.
- Mezinárodní spolupráce např. v rámci organizací WANO a MAAE.
- Public affairs.

17.2.6.2 Dodavatelé

Práce s dodavateli je striktně regulována smlouvami o dílo a dokumenty systému řízení společnosti ČEZ, a. s. Dodavatelé, zabezpečující produkty pro ČEZ, a. s. (ošetřeno konkrétními smlouvami o dílo), jsou evidováni v příslušném systému sledování obchodních partnerů.

17.2.7 Identifikace relevantních právních předpisů a norem

Všichni garanti a určení zaměstnanci mají zprostředkován přístup k celému spektru všech předpisů, norem, zákonů a jiných závazných i doporučujících dokumentů. Dle obecných ustanovení a nastavených kompetencí garantů oblastí řízení identifikují garanti příslušné relevantní požadavky právních předpisů a jiné požadavky, které se na danou oblast vztahují, včetně souvislostí s jejími environmentálními a bezpečnostními aspekty a požadavky.

Tyto požadavky pak garanti zohledňují při zajišťování výstupů v jejich kompetenci pomocí standardních nástrojů řízení. Prostřednictvím smluv a sdílené dokumentace jsou požadavky přeneseny i na dodavatele.

17.2.8 Povinnost a pravomoc v rámci systému řízení

Strategický management si je plně vědom své zodpovědnosti za zavedení, používání, vyhodnocování a trvalé zlepšování integrovaného systému řízení.

Strategický management odpovídá za to, že povinnosti, úkoly a pravomoci vztahující se k systému řízení, vlastní kvalitě, životního prostředí a bezpečnosti jsou v ČEZ, a. s., stanoveny, dokumentovány a sdělovány tak, aby podporovaly efektivní řízení. Zároveň jsou v případě potřeby sdělovány zainteresovaným stranám.

Osoby podřízené strategickému managementu mají povinnost a pravomoc ve věci:

- Koordinace vývoje, zavedení a udržování stanovených částí systému řízení a jeho hodnocení a neustálého zlepšování.
- Poskytování zpráv ohledně výkonu systému řízení, včetně jeho vlivu na bezpečnost a kulturu bezpečnosti a jakékoli potřeby zlepšování.
- Řešení jakýchkoli potenciálních konfliktů mezi požadavky a v rámci procesů systému řízení.

17.2.8.1 Všeobecné pravomoci a povinnosti vedoucích zaměstnanců

- Hodnocení a trvalé zlepšování organizace útvaru pro dosažení vyšší efektivity řízených procesů při vynaložení optimálních nákladů, zajištění vysoké kvality řízení a prováděných činností.
- Zajištění nápravných a preventivních opatření v působnosti útvaru.

- Zpracování informací, podkladů a návrhů nadřízeným vedoucím zaměstnancům k rozhodnutí, pro ostatní útvary, resp. orgány společnosti, které je potřebují ke svému výkonu.
- Zajištění vstupních údajů pro informační systémy společnosti.
- Konzultační, příp. jinou odbornou pomoc ostatním útvarům v oblasti odborné působnosti.
- Zpracování řídicích, regulačních a pracovních dokumentů v působnosti útvaru, sledování jejich aktuálnosti, účinnosti a dodržování.
- Horizontální a vertikální spolupráci a komunikace.

17.2.8.2 Procesní řízení

Ve společnosti ČEZ, a. s., se uplatňuje procesní řízení, které spočívá v nastavení (definování) jednotlivých charakteristik procesu v souladu s cílem, vyžadovaným zákazníkem, v zavedení a realizování procesu v praxi, v měření úspěšnosti procesu a v následném zlepšování v případech, kdy se změnily omezující podmínky fungování procesu nebo se nedosahuje požadovaného cíle či efektivity.

Garanti procesů identifikují útvary, jejichž vedoucí poskytují zaměstnance (lidské zdroje) do jednotlivých procesních rolí, přičemž při nastavování procesních rolí zaměstnanců garanti procesů a linioví vedoucí znají rozhraní mezi jednotlivými procesními rolemi. Obsazování procesních rolí zaměstnanci je mezi garantem procesu a liniovým vedoucím dohodnuto a vykonáno před realizací procesu a zakotvení v příslušném dokumentu vztahujícím se k procesu.

17.2.8.3 Měření, hodnocení a zlepšování

Jednotlivé úrovně monitorování a hodnocení jsou vícestupňové. V systému měření, hodnocení a zlepšování jsou uplatněny stupně:

- Vlastní hodnocení.
- Nezávislé hodnocení.
- Přezkoumání systému řízení (management review).

K vlastnímu hodnocení je zaveden vnitřní kontrolní systém, který má průřezový charakter. Představuje nezbytnou zpětnou vazbu v řídicím procesu a poskytovanými informacemi významně ovlivňuje rozhodovací proces. Představuje všechny aktivity vedoucích zaměstnanců, pomocí kterých zjišťují, zda dosahované výsledky odpovídají plánovaným. Zajišťuje sebehodnocení funkčnosti a účinnosti řízení na všech manažerských úrovních. V rámci kontrolního systému se využívá i nástroj Sebehodnocení. Principem kontrolního systému je systematické a periodické provádění porovnání s předem definovanými požadavky, očekáváním a cíli, které jsou stanoveny v dostatečném rozsahu a hloubce. Na základě hodnocení a analýzy dosažených výsledků, resp. analýzy údajů zjištěných při kontrolních činnostech, se stanovují objektivní závěry, které vyúsťují v návrhy účinných opatření k nápravě a preventivních opatření.

Nezávislá hodnocení včetně analytických činností jsou uplatňována tam, kde to požadují obecně závazné předpisy (vliv na jadernou bezpečnost, radiační ochranu, technickou bezpečnost atd.) nebo kde je to účelné. Mezi metody nezávislého hodnocení patří zákaznické audity a audity kvality, životního prostředí a bezpečnosti, dohled nad prováděním činností, vyhodnocení externími experty („peer") a technická přezkoumání.

Zprávu o přezkoumání systému řízení zpracovává útvar rozvoj systému řízení jako podklad pro přezkoumání strategickým managementem, s ohledem na stanovené politiky a cíle, a to v pravidelných intervalech (nejméně jedenkrát za rok). Zprávu o monitoringu jaderných aktivit s ohledem na jadernou bezpečnost, radiační ochranu, požární bezpečnost, fyzickou ochranu, BOZP zpracovává útvar inspektorát bezpečnosti Skupiny ČEZ v pravidelných intervalech jako podklad pro jednání/rozhodnutí představenstva.

17.2.9 Neshody, nápravná a preventivní opatření

Pro nejvýznamnější neshody ukládá integrovaný systém řízení povinnost vypořádat je úplnou procedurou zahrnující:

- Registraci a klasifikaci neshody.
- Stanovení a provedení okamžitých opatření k omezení účinku trvání neshody.
- Nápravu neshody (obnovení požadovaných parametrů činnosti).
- Analýzu příčin neshody.
- Navržení a provedení nápravných opatření k eliminaci příčin neshody.
- Identifikaci souvisejících potenciálních neshod.
- Navržení a schválení preventivních opatření k eliminaci potenciálních neshod.
- Monitoring realizace nápravných a preventivních opatření.
- Přezkoumání účinnosti nápravných a preventivních opatření.

Pro ostatní neshody je povolena zkrácená procedura, ukončená nápravou neshody.

Neshody na JE Dukovany jsou registrovány a stav zařízení je posuzován a vyhodnocován. V rámci vyhodnocení je určen způsob vypořádání neshody. Pro určování příčin, nápravných opatření a závěrů k šetření událostí a identifikovaných významných neshod v JE Dukovany je stanovena tzv. poruchová komise.

Pro operativní plnění úkolů státního dozoru lokalitními inspektory SÚJB je veden v elektronické podobě deník operativního styku, přes který jsou mimo jiné předávány požadavky SÚJB na plnění požadavků zákona a jeho prováděcích předpisů. Ze strany držitele povolení jsou prostřednictvím DOS předávány např. informace o plnění požadavků SÚJB, dokumenty požadované SÚJB pro operativní plnění úkolů státního dozoru apod.

V rámci systému vypořádání neshod jsou požadavky SÚJB předávané prostřednictvím DOS prioritně vypořádávány z hlediska bezpečnosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření.

18 Inženýrská psychologie - ergonomie

18.1 Úvod

Inženýrská psychologie-ergonomie je soubor poznatků, které jsou uplatňovány při projektování rozhraní člověk-stroj. Funkční analýzy a projekt se řídí snahou optimálním způsobem integrovat lidská, technická a další kritéria tak, aby byly splněny předpoklady pro dosažení bezpečnostních a provozních cílů elektrárny. Jde zejména o dostupnost přesných a včasných informací, snížení pracovní zátěže operátorů. Součástí tohoto systémového přístupu je také pracovní prostředí v dozornách a jeho fyzikální faktory (např. osvětlení, mikroklima, hluk).

JE Dukovany a řešení blokové dozorny je poplatné době vzniku a použitým komponentům. V době projektování byla aplikována platná norma ČSN 18 4302, která pokrývá větší část požadavků a principů inženýrské psychologie-ergonomie a požadavky-doporučení obsažené zejména v IEC 964.

Projekt Obnovy SKŘ zahrnoval i řešení blokové dozorny, takže hlavním principem projektu v této oblasti bylo, aby umístění, vzhledové řešení i způsob ovládání sdělovačů a ovládačů pro danou skupinu funkcí v co největší míře odpovídal stavu před Obnovou SKŘ. Tato zásada je důležitá z hlediska bezproblémového přechodu obsluhy na obnovené SKŘ. Dalším hlavním principem je využít možnosti moderních zobrazovacích a ovládacích prostředků a počítačových pracovních stanic, umožňujících obsluze větší komfort a rychlejší dostupnost velkého množství údajů. Dále byly do projektové základny zahrnuty požadavky aktuálních norem a předpisů, reflektující celosvětově rostoucí pozornost věnovanou ergonomii a inženýrské psychologii za účelem prevence chyb lidského faktoru.

Z dlouhodobého sledování chyb a výpadků provozu JE vyplynulo, že příspěvek blokové dozorny (chyby obsluhy) na bezpečnost a ekonomii provozu je zanedbatelný. To je způsobeno jednak dobrou vybaveností dozorny pro zvládnutí všech plánovaných stavů, jednak dobře vyškolenou obsluhou s velmi dobrou znalostí provozu a zařízení elektrárny.

18.2 Principy návrhu

Bloková dozorna je hlavním pracovištěm pro řízení technologických procesů reaktorového bloku.

Nouzová dozorna je nouzovým pracovištěm pro bezpečné odstavení reaktoru do studeného stavu a dlouhodobou kontrolu a řízení odvodu zbytkového tepla pro případ nemožnosti řízení technologických procesů z blokové dozorny.

Bloková dozorna je projektována tak, aby byly splněny následující cíle:

- bezpečný provoz - zabezpečení všech v projektu přijatých bezpečnostních principů (jaderná bezpečnost a radiační ochrana),
- ekonomický provoz - minimalizace výskytu jakéhokoli nechtěného snížení výkonu nebo rychlého odstavení elektrárny, způsobeného chybným rozhodnutím a zásahem operátora nebo lokálními poruchami, spojenými s poruchou SKŘ, přičemž je splněna projektová zásada, že každá porucha prostředků SKŘ nebo selhání lidského činitele vždy vede k bezpečnému stavu bloku (v krajním případě k zásahu důležitých ochranných systémů),
- usnadnění plánovaného provozu a to ve všech uvažovaných režimech,
- zajistit udržovatelnost a opravitelnost zařízení.

- Z uvedených důvodů a dalších technických omezení je projekt BD proveden tak, že umožňuje:
  - řízení provozu elektrárny z panelů a pultů pomocí ovládání na volbu pro bezpečnostně nedůležité komponenty a z omezeného počtu klasických ovládačů a sdělovačů pro bezpečnostně důležité komponenty a zařízení a to ve všech projektem předpokládaných stavech.
  - uvedení elektrárny do stavu bezpečného odstavení pomocí ovládačů, sdělovačů a výstražné signalizace na panelech a pultu, nutných pro odstavení,
  - vyloučení možných chybných zásahů operátora v havarijním stavu, kdy je projektem definováno, že po dobu 30 minut po automatickém spuštění bezpečnostních funkcí, nebude ve většině případů zapotřebí žádný zásah operátora; je-li nutný zásah operátora pro spuštění bezpečnostní funkce (je přesně definováno v havarijních předpisech), bude to operátor moci provést na panelech jak blokové, tak i nouzové dozorny.
  - sdělování odpovídajících informací o bezpečnostních systémech a systémech, které jsou nutné pro správné odstavení elektrárny do bezpečného stavu pomocí klasických sdělovačů.
  - personálu obývat dozornu, komunikovat s ostatním personálem, přímo sledovat technologická zařízení; jedná se o vybavení ostatními podpůrnými prostředky (např. kontrola prostředí na BD, komunikační zařízení, ISE, průmyslová TV atd.); BD je zajištěna proti neoprávněnému vstupu nepovolaných osob.

Nouzová dozorna je projektována tak, aby byly splněny následující cíle:

- Poskytnutí prostředků pro rychlé odstavení reaktoru (včetně ověření odstavení reaktoru), převedení bloku do studeného stavu a umožnit dlouhodobý a bezpečný provoz bloku ve studeném stavu.
- Poskytnutí obsluhujícímu personálu dostatečné množství informací pro posouzení stavu elektrárny a dohled nad odstavením a dlouhodobým chlazením aktivní zóny.
- Umožnění obslužnému personálu obývat dozornu a vzájemně komunikovat s ostatním personálem. Jedná se o vybavení ND ostatním podpůrným zařízením - např. kontrola prostředí na ND, komunikační zařízení, ISE atd. ND musí být zajištěna proti neoprávněnému vstupu nepovolaných osob.

18.3 Funkční návrh blokové dozorny

Základním cílem projektu blokové dozorny je poskytnout provoznímu personálu přesné, úplné a včasné informace o stavu zařízení a systémech elektrárny a zajištění jaderné bezpečnosti ve všech v projektu uvažovaných stavech.

Bezpečnostní cíle pro blokovou dozornu jsou tedy stanoveny s cílem zachování fyzických bariér:

- pokrytí paliva,
- hranice primárního okruhu,
- hermetický prostor.

Kritické bezpečnostní cíle jsou následující:

- podkritičnost,
- chlazení aktivní zóny,
- odvod tepla z primárního okruhu,
- integrita primárního okruhu,
- těsnost hermetického prostoru,
- zásoba chladiva.

Pro zachování fyzických bariér musí být zajištěny dostatečné monitorovací a řídicí možnosti blokové dozorny k zajištění bezpečnostních funkcí a pro provedení požadovaných činností během havarijních stavů.

Dále projekt blokové dozorny:

- umožňuje za všech provozních stavů, včetně výměny paliva a havarijních podmínek, provádět optimalizaci úkolů a minimalizovat pracovní zátěž potřebnou pro monitorování a řízení elektrárny,
- poskytuje účinné přiřazení funkcí, které slouží k dosažení maximálního využití schopností operátora a systému,
- umožňuje operátorům monitorovat, řídit a ovládat procesy, které pro ochranu zdraví a bezpečnost personálu elektrárny vyžadují zásahy v reálném čase,
- umožňuje komunikaci s ostatními pracovníky elektrárny,
- tvoří styčné rozhraní mezi provozem a údržbou elektrárny - znalost aktuálního stavu technologického procesu, komponent a zařízení má personál blokové dozorny.

18.4 Specifikace funkčního návrhu

- Základní projektové údaje pro respektování antropometrických údajů stanovují:
    - průchody mezi panely, manipulačními pulty a pracovními stoly (minimálně 800 mm),
    - rozměry panelů a manipulačních pultů (stanoveny pro dosah na většinu ovládačů v rámci funkčního dosahu a všech ovládačů v rámci svého prodlouženého dosahu operátora nejmenšího vzrůstu do 95 percentilů operátorů mužského pohlaví),
    - barva povrchu panelů (převládající barva panelů je světle šedá),
    - maximální přípustná hladina hluku (65dB(A)),
    - rozmístění pracovišť pro přímou verbální komunikaci,
    - umístění popisů, displejů, sdělovačů a ovládačů (umístěny v mezích maximálního vizuálního pole operátora nejmenšího vzrůstu; většina umístěna v mezích pohledového úhlu pro časté sledování operátora nejmenšího vzrůstu),
    - výška písma, kontrast, styl textu pro správnou čitelnost textu (zachování pohledového úhlu alespoň 15', atd.),
    - umístění pultů pro nerušený pohled na signalizaci na panelech,
    - dále viz část 18 PpBZ.

- Umístění, prostředí a ochrana:

  - o Bloková dozorna je řešena tak, aby umožnila spolehlivý a bezpečný provoz elektrárny. Navíc umístění dozoren umožňuje vhodné přístupové cesty, kudy může personál dozorny odejít nebo přijít do dozorny, nebo při havarijních podmínkách dosáhnout jiných řídících míst.
  - o Podmínky prostředí v blokové dozorně jsou v souladu s hygienickými předpisy tak, aby byla operátorům umožněna činnost v dozorně a monitorování a řízení elektrárny i v průběhu případného havarijního stavu.
  - o Vzduchotechnika je navržena a realizována tak, aby vzduchotechnický systém zvládl případný havarijní stav elektrárny.
  - o Projektové řešení osvětlení vyhovuje požadavkům zrakové pohody při požadavku dlouhodobého soustředění bez možnosti odpočinku zraku; požadavku časté akomodace, sledování pohyblivého detailu a změny pohledu; při rychlém tempu se značným požadavkem spolehlivosti zrakové práce.
  - o Intenzita a rovnoměrnost osvětlení vyhovuje hygienickým doporučením.
  - o Byla učiněna taková opatření, aby byla zajištěna přijatelná obyvatelnost blokové dozorny pro všechny projektové události a to po dobu trvání události s výjimkou těch případů, kdy je nutný přechod personálu na nouzovou dozornu – požární ochrana, ochrana před zářením, ochrana před toxickými a netoxickými plyny, ochrana proti letícím předmětům, ochrana proti zemětřesení, ochrana proti nepřátelské činnosti.

- Prostor a uspořádání:
  - o Pracovní stoly jsou navrženy pro práci vsedě. Výšky povrchů odpovídají doporučením pro výšky povrchů stolů a je poskytnut odpovídající prostor pro místo na nohy a židli.
  - o Dozorna je funkčně rozdělena na tři pracovní oblasti: operátora primárního okruhu, operátora sekundárního okruhu, vedoucího reaktorového bloku.
- Hlavní komponenty blokové dozorny:
  - o Pracovní stůl vedoucího reaktorového bloku - neobsahuje žádná zařízení pro ovládání technologického procesu, nicméně poskytuje prostředky PCS pro sledování stavu provozu příslušného výrobního bloku, komunikační prostředky pro organizační řízení vzniklé situace a povolovací tlačítko vstupu.
  - o Pracovní stůl operátora primárního okruhu - obsahuje zejména prostředky PCS pro monitorování parametrů provozu primární části, komunikační prostředky.
  - o Pracovní stůl operátora sekundárního okruhu obsahuje zejména prostředky PCS pro monitorování parametrů provozu sekundární části, komunikační prostředky, displej pro sledování vstupního prostoru a povolovací tlačítko vstupu.
  - o V nouzové dozorně jsou umístěny panely, sloužící k odstavení a dochlazení reaktoru do studeného stavu, k pohavarijnímu monitorování (PAMS) a k přístupu k informacím o bloku (PCS). Veškeré sdělování a řízení se provádí pomocí sdělovačů a ovládačů na panelech a na pracovním stole.

Při návrhu blokové dozorny jsou zohledněna následující hlediska:

- viditelnost - operátor musí vidět veškeré důležité informace z místa prováděných manipulací,
- seskupení - ovládače a sdělovače jsou uspořádány tak, aby vznikly logické celky,
- identifikace - operátor musí být schopen jednoznačně identifikovat skupinu nebo jednotlivé ovládače a sdělovače rychle a bez chyby,
- populační stereotypy,
- volný prostor pro ovládání.

Sdělování informací je na blokové dozorně zajišťováno sdělovači na pultech a panelech a dále výstupy na obrazovkách PCS. Sdělované informace jsou určeny pro:

- zjištění a monitorování (využívané prostředky: pulty, panely, technologické displeje),
- interpretaci a rozhodování (využívané prostředky: výstražná a stavová signalizace, technologické displeje, provozní předpisy, konvenční řídící pulty a panely),
- řízení technologického procesu (využívané prostředky: provozní předpisy, ovladače a ovladače na volbu, technologické displeje, konvenční řídící pulty).

Informace na dozornách EDU jsou poskytovány následujícími displeji:

- displeje blokového informačního systému PCS
- displeje PAMS
- displeje EXCORE
- displeje RRCS
- displeje IDMS
- vícerozsahové indikační displeje
- displeje ŘSBT
- displeje ŘSBE
- displeje DIAG

18.5 Ověření a prokázání platnosti návrhu dozorny

Obecně je cílem procesu ověření a prokázání platnosti vyhodnocení vhodnosti návrhu dozoren - rozhraní mezi operátorem a technologickým procesem elektrárny.

Ověření se definuje jako postup zjišťující, zda jednotlivé prvky dozoren splňují stanovené požadavky.

Prokázání platnosti, se definuje jako zkouška a vyhodnocení stanovující, zda řešení problémů splňuje požadavky na funkce, činnosti a rozhraní člověk-stroj. Prokázání platnosti je postup zjišťování, zda věcný a organizační návrh pro provoz přiměřeně podporuje účinné integrované provádění funkcí operátorů dozorny.

JE Dukovany je existující elektrárna s mnoha lety spolehlivého provozu. Byla postavena na základě typového projektu VVER 440 s drobnými úpravami. Nejsou k dispozici doklady o provedené funkční analýze, předcházející návrhu projektu a přiřazení funkcí. Ověření a prokázání platnosti návrhu blokové dozorny na EDU vzniká tedy jako „vedlejší produkt“ výcviku na plnorozsahovém trenažéru.

Prostředky trenažéru, jehož náplní je výcvik obslužného personálu BD, používání provozních předpisů a seznamování se s prostředím a vybavením dozorny, právě tak jako používání těchto prostředků, spolupráce s ostatními členy osádky BD, jsou nejlépe použitelné pro demonstraci průběhu procesu ověření a potvrzení platnosti, ačkoliv na tyto činnosti není vytvářen ani speciální tým, ani prostor pro jeho činnost ani dokumenty nejsou ve formě, jaká je předpokládána příslušnými normativními předpisy. Nicméně je možno demonstrovat, že právě prostředky pro výcvik, dostupné na JE Dukovany jsou zprostředkovaně prostředky procesu ověřování a prokazování platnosti a to ve velmi dlouhém časovém intervalu, ne jako jednorázová akce.

Navíc se tento proces provádí souvisle, i ve vazbě na provozní zkušenosti a je součástí organizačních a technických opatření i při aplikaci změn s dopadem na blokovou dozornu.

Na trenažéru se cvičí a zkouší všechny režimy a podmínky provozu, na které je elektrárna projektována.

Jedná se zejména o:

- normální provoz bloku,
- abnormální stavy bloku,
- mimořádné stavy bloku (havarijní podmínky),
- těžké havárie,
- poruchy prostředků SKŘ,
- neobyvatelnost dozoren.

19 PSA, nadprojektové a těžké havárie

19.1 PSA

19.1.1 Cíl pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti jaderné elektrárny (PSA)

Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti (PSA) používá v současnosti převážná většina jaderných elektráren ve světě. Historicky byla první hodnocení tohoto typu prováděna držiteli licence a národním regulátorem v USA. PSA hodnocení umožňuje identifikaci slabých míst jednotlivých systémů a komponent, která nemusí být z deterministického hlediska zřejmá, posouzení vlivu plánovaných modifikací na jadernou bezpečnost a vyhodnocení účinnosti zaváděných nebo upravovaných předpisů a postupů. Hodnocení PSA analyzuje riziko, spojené s provozováním jaderné elektrárny a vyjadřuje jej měřitelnými parametry různého stupně poškození elektrárny (např. frekvence poškození aktivní zóny reaktoru – zkratka CDF) nebo životního prostředí.

Hodnocení PSA používá logický a systematický přístup, který vychází z realistického hodnocení výkonnosti (kondice) zařízení a personálu elektrárny a používá jej jako základ pro pravděpodobnostní výpočty možných selhání, nedostupnosti a chyb ve vzájemné vývojové kumulaci. To v principu přináší lepší porozumění a posouzení rizika provozu elektrárny v širších souvislostech než pouze deterministické hodnocení. Deterministické posouzení je obvykle založené na sadě konzervativních okrajových podmínek definovaných poruchových stavů, kdy se o minimální dostupné konfiguraci bezpečnostních systémů předpokládá, že zafunguje správně. PSA hodnocení používá přístup, že vše může s určitou pravděpodobností selhat, kvantifikuje tuto pravděpodobnost pro jednotlivé komponenty, zásahy obsluhy ve vztahu ke stavu jaderného bloku a stanovuje celkové riziko jednotlivých sekvencí možných událostí. PSA je užitečným nástrojem pro hodnocení jaderné bezpečnosti a jeho hlavní přínos je v tom, že poskytuje další informace, která z deterministického hodnocení nejsou dostupné. V praktickém hodnocení bezpečnosti se pak obě metody, jak deterministická, tak pravděpodobnostní, vhodně doplňují.

Pravděpodobnostní modely a pravděpodobnostní hodnocení vycházejí z návodů IAEA, především z SSG-3: Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, 2010 a SSG-4: Development and Application of Level 2 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, 2010.

19.1.2 Úvod do pravděpodobnostního hodnocení

Použití PSA jako součásti hodnotícího procesu vyžaduje sestavení PSA modelu. Tento model musí být udržován aktuální („živý“) a musí být stále doplňován o:

- Změny projektu elektrárny (implementované modifikace)
- Změny postupů a provozních předpisů
- Změny úrovně detailu, které vyžadují jednotlivé poruchové stromy při zpřesňování modelu
- Změny předpokladů, které mohou vést ke změně kritérií úspěšnosti
- Pokrok v chápání některých pojmů, např. vliv kvalifikace komponent na jejich nepohotovost

Pokud dojde ke změně v datech, vkládaných do modelu, musí být cely model znovu přepočítán a výsledky výpočtů musí být správně interpretovány. Změna předpokladů se řídí pravidly, stanovenými v dokumentu IAEA TECDOC-1106: Living probabilistic safety assessment (LPSA), 1999.

PSA poskytuje numerické hodnoty hodnocení rizika dané úrovně, které vyjadřují hodnocené dopady. Tyto hodnoty pak vyjadřují některé z následujících skutečností:

- Pravděpodobnost selhání některé z bezpečnostních funkcí nebo bezpečnostního systému

- Frekvenci poškození aktivní zóny reaktoru[68] **(PSA úrovně 1)**
- Frekvenci úniků RA látek (kvantita, izotopy, čas) z elektrárny do životního prostředí nebo frekvenci úniků RA látek jako funkci jeho velikosti **(PSA úrovně 2)**

19.1.2.1 PSA úrovně 1

PSA úrovně 1 je založena na modelování poruchového stromu událostí, který může nastat po iniciační události a poruchový strom pak popisuje kombinace možných selhání bezpečnostních systémů, poruch podpůrných bezpečnostních systémů a lidských omylů, které ve svých důsledcích mohou vést až k poškození aktivní zóny. Obecným cílem je přiblížit se co nejvíce reálnému průběhu poruchové události a používají se tedy data, která nejrealističtěji vystihují její průběh. Pokud pro určitou oblast není dostatek informací (např. o spolehlivosti systému), použijí se konzervativní data tak, aby se předešlo příliš optimistickému výsledku.

Jako iniciační události jsou použity takové, které bez zásahu bezpečnostních systémů mohou vést přímo k poškození aktivní zóny (např. události typu LOCA), nebo události, které představují běžnou provozní poruchu ale v kumulaci s dalšími navazujícími selháními a chybami mohou vést k podmínkám, kdy je již riziko poškození aktivní zóny reálné. Používány jsou jak interní rizika (např. LOCA) tak externí rizika (např. seismická událost). Pro identifikaci iniciačních událostí je použito několik metod:

- Analytické metody (rizikové studie selhání bezpečnostních systémů, analýzy FMEA - Failure Modes and Effects Analysis (Analýza typů poruch a jejich důsledků atd.), které popisují cesty k poškození aktivní zóny.
- Deduktivní metody, které stanovují možnost selhání zařízení nebo kombinace poruch, vedoucích k poškození aktivní zóny.
- Srovnání se seznamem iniciačních událostí PSA 1 úrovně na jaderných elektrárnách podobného typu a s existujícími standardy a předpisy.
- Posouzení deterministických analýz pro projektové i nadprojektové události, případně dalších dostupných zdrojů informací.

Iniciační události, zahrnuté v PSA 1. úrovně, jsou typicky takové, které nějakým způsobem narušují plnění základních bezpečnostních funkcí dle kap. 1.2.3. Seznam iniciačních událostí je pak doplněn i o události, které mají za následek nejen kompletní ale i částečné selhání bezpečnostních systémů (např. částečné omezení napájení parogenerátorů, výpadek jedné linie TVD), neboť i částečná selhání mohou mít dopad do číselného vyjádření rizika. Pro víceblokové elektrárny (JE Dukovany) jsou použity rovněž iniciační události, které mají dopad na více bloků současně (např. ztráta externího elektrického napájení – tj. připojení napájení elektrárny na vnější elektrickou síť).

Vlastní sekvence události je pak modelována jako postupné kroky odezvy systémů (a personálu) elektrárny na přechodový proces, vyvolaný příslušnou iniciační událostí. Typicky od odstavení reaktoru systémem RTS přes činnost bezpečnostních systémů po postupy, předepsané příslušnými havarijními předpisy. Koncovým stavem sekvence je pak buď stabilní bezpečný stav, nebo poškození aktivní zóny. Tyto sekvence událostí jsou modelovány pro všechny typy iniciačních událostí a zahrnují všechny bezpečnostní systémy a systémy, související s bezpečností, které jsou pro dosažení bezpečného stavu potřeba.

Modelováním selhání systémů či lidských zásahů se pak dá najít cesta v sekvenci, která vede k poškození aktivní zóny (selháním jednoho či více systémů). V této oblasti jsou analyzovány dopady jak jednoduchých selhání komponent (měřící a vyhodnocovacích obvodů, čerpadel, armatur atd.) tak jejich nedostupnosti (např. při plánované údržbě nebo periodických zkouškách) tak chybných manipulací personálu. Pomocí této analýzy jsou nalezeny stromy poruch systémů, které vedou k poškození aktivní zóny. Jedná se vlastně o logický opak úspěšné sekvence činnosti systémů a personálu, vedoucí k bezpečnému stavu. V některých případech je stromů poruch systémů více, než sekvencí událostí (k poškození aktivní zóny při určité iniciační události vede více cest). Skladba systémů stromů poruch je konzistentní s daty o spolehlivosti příslušných systémů či komponent, které jsou k dispozici z provozu elektrárny.

[68] Poškození aktivní zóny reaktoru je obvykle definováno jako překročení mezní teploty pokrytí jaderného paliva, kdy již nelze garantovat zachování integrity palivového pokrytí.

V logickém modelu PSA 1. úrovně jsou selhání jednotlivých prvků kvantifikována daty. Jako vstupy jsou brány frekvence výskytu iniciační události, pravděpodobnosti selhání jednotlivých systémů či komponent, frekvence a trvání pravidelné údržby a zkoušek na systémech či komponentách, pravděpodobnost selhání systému ze společné příčiny a pravděpodobnost chyby lidského zásahu.

Na závěr jsou provedeny studie důležitosti, citlivostní studie a analýza nejistoty stanovení výsledku. Vzhledem ke značné rozsáhlosti modelu a pravděpodobnostních výpočtů se pro PSA 1. úrovně používají speciální výpočtové programy, které po zavedení modelu do systému umožňují i hodnocení změny vstupních dat (např. změna programu plánované údržby systému) do aktuálního rizika provozu. Těmito systémy se pak provádí optimalizace činností na elektrárně s cílem minimalizovat výsledné riziko.

Výsledkem hodnocení PSA 1. úrovně je sada parametrů:

- Frekvence poškození aktivní zóny CDF (Core Damage Frequency)
- Příspěvek skupiny iniciačních událostí k celkové frekvenci poškození aktivní zóny
- Výsledky citlivostní studie a analýzy nejistot
- Významnost opatření (např. ocenění snížení rizika) pro interpretaci výsledků PSA
- Frekvence jednotlivých stavů poškození elektrárny jako podklad pro PSA 2. úrovně

19.1.2.2 PSA úrovně 2

PSA 2. úrovně navazuje na výpočty PSA 1. úrovně a počítá dopady progrese vývoje události, která byla pravděpodobnostně hodnocena v úrovni PSA 1 a vedla k významnému poškození aktivní zóny reaktoru (těžká havárie). Hlavním cílem této analýzy je zjistit, zda má elektrárna dostatečné rezervy proti následkům takové havárie, případně zda byla provedena další dodatečná a účinná opatření ke zmírnění dopadů takové havárie. Tyto rezervy mohou zahrnovat:

- Systémy a prostředky specificky určené pro zmírnění dopadů těžkých havárií jako rekombinátory vodíku nebo prostředky pro zachycení roztavené aktivní zóny uvnitř kontejnmentu
- Dostatečná odolnost kontejnmentu pro zachycení RA látek a použití zařízení, jejichž původním účelem nebyla funkce pro řízení těžké havárie
- Pokyny a návody provozovatele pro řízení těžkých havárií

PSA 1. úrovně identifikuje havarijní sekvence, které by mohly vést až k poškození aktivní zóny. Není příliš praktické ani nezbytné, aby všechny sekvence, vedoucí k poškození aktivní zóny, byly individuálně posuzovány z pohledu vývoje události, odezvy kontejnmentu a úniku RA látek do okolí v PSA 2. Havarijní sekvence jsou sloučeny do skupin, které mají stejnou závěrečnou fázi (čas a velikost úniku RA látek a vliv na kontejnment). Stavy poškození elektrárny tedy představují skupiny havárií, které vyvolají podobné zatížení kontejnmentu, mají podobný časový průběh a podobné zdrojové členy radioaktivních látek. Základní atributy těchto stavů pak tvoří obálku pro analýzy a výpočty v oblasti těžkých havárií v PSA 2.úrovně.

Obecně lze rozlišit dva hlavní stavy elektrárny s poškozeným palivovým systémem v důsledku nepříznivého vývoje havárie :

- RA látky jsou uvolněny z aktivní zóny a primárního okruhu, avšak zůstávají uvnitř kontejnmentu a neunikají přímo do životního prostředí
- Kontejnment je neefektivní[69] nebo je by-passován[70] a RA látky mohou unikat do technologických systémů elektrárny mimo kontejnment nebo v krajním případě přímo do životního prostředí

Stav poškozené elektrárny v PSA 2 tedy musí vždy obsahovat základní stav kontejnmentu (tj. kontejnment utěsněn a izolován, utěsněn a neizolován nebo by-passován). Pokud je

[69] PSA 2. úrovně popisuje rovněž stavy s roztěsněným kontejnmentem, např. odstávka pro výměnu paliva

[70] Příkladem pro by-pass kontejnmentu tedy únik přes propoj kontejnmentu s technologií nacházející se vně kontejnmentu, může být nepříznivý rozvoj události spojené s prasknutím teplosměnné trubky v parogenerátoru

kontejnment utěsněn a izolován, zpracovává se pro výpočet strom poruch, pokud je by-passován tak stačí výpočet zdrojového členu a předpokládá se volné šíření RA látek. I v tomto případě je však v PSA 2 tak jak je aplikována v EDU strom sestaven, neboť na jeho základě lze navrhnout prostředky ke zmírnění dopadů, které nebyly původním projektem pro tento účel používány.

19.1.3 Použití PSA na JE Dukovany

PSA je obecně používána k podpoře řízení bezpečnosti, k podpoře rozhodování během normálního provozu i odstávek i k hodnocení celkového rizika provozu. PSA je dlouhodobě používána na JE Dukovany jako významný doplněk deterministického hodnocení jaderné bezpečnosti, zejména v oblastech, kde deterministické hodnocení není schopno kvantitativně vyjádřit míru zvýšení či snížení jaderné bezpečnosti (rizika provozu) bloku. Konkrétně je používána pro následující aplikace a účely:

- Hodnocení úrovně bezpečnosti (rizika) provozu.
- Analýza závažnosti provozních událostí z historie provozu a hypotetických stavů, které by mohly nastat (tzv. prekurzory poškození AZ).
- Odhalování slabých míst EDU a navrhování nápravných opatření.
- Hodnocení připravovaných modifikací zařízení, určených pro zvýšení jaderné bezpečnosti.
- Hodnocení změn postupů provozního personálu, předpisů pro likvidaci mimořádných a abnormálních stavů.
- Hodnocení intervalů zkoušek zařízení a povolených dob nepohotovosti zařízení.
- Monitorování profilů rizika provozu reálných konfigurací EDU pomocí prostředku Safety Monitor.
- Rizikově orientované hodnocení všech odstávek.
- Rizikově orientované hodnocení a podpora zdůvodnění přijatelnosti dalšího provozu (BCO) při výskytu neshod.
- Identifikace rizikově dominantních havarijních scénářů nebo konfigurací bloků EDU podpora periodického hodnocení bezpečnosti (PSR).
- Optimalizace Limit a podmínek bezpečného provozu, především při stanovení povolené doby nepohotovosti bezpečnostních systémů.
- Stanovení testovacích intervalů jednotlivých zařízení, důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti.
- Podpora výcviku personálu na plnorozsahovém simulátoru.
- Podpora havarijního plánování včetně návrhů na obsah havarijních cvičení elektrárny.

19.1.4 Rozsah a úroveň PSA

19.1.4.1 Iniciační události

Stávající studie PSA EDU v současnosti obsahuje následující rozsah hodnocených stavů a událostí:

- Vnitřní události - jsou zahrnuty všechny poruchy technologie na JE nebo nesprávná činnost systémů JE v důsledku chyby lidského činitele nebo počítačového software.
- Vnitřní hazardy - jsou zahrnuty vnitřní záplavy, vnitřní požáry, pády těžkých břemen a letící předměty ve strojovně a v prostoru podélné etažérky.
- Vnější hazardy - jsou zahrnuty externí události v důsledku selhání lidského činitele a vnější události, způsobené extrémní činností přírody, včetně seismických událostí.

19.1.4.2 Provozní režimy

V PSA studii 1. a 2. úrovně pro EDU je analyzováno riziko plynoucí z následujících režimů provozu:

- Provoz RB na nominálním výkonu (Režim 1).
- Provoz RB v nízkovýkonových stavech RB a v podmínkách horké rezervy (Režim 1 na sníženém výkonu a Režimy 2 a 3).
- Plánovaná i neplánovaná odstávka RB (Režimy 4 až 7).

19.1.4.3 Úroveň podrobnosti PSA

PSA 1. úrovně je vypracována pro plný rozsah vnitřních a vnějších iniciačních událostí pro všechny režimy bloku. Dokumentace PSA 1. úrovně je pak zpracována v rozsahu a členění dle návodu IAEA[71] a SÚJB[72].

PSA 2. úrovně je vypracována pro všechny provozní režimy zahrnutých v PSA 1. úrovně a pro vybraný rozsah vnějších iniciačních událostí. Hodnota současného odhadu velkého časného úniku RA látek v důsledku poškození paliva v AZ a v BSVP jako výsledek PSA 2. úrovně je tak kvantifikována mimo provozní události vnitřního původu i pro vnější události způsobené lidskou činností a to ve všech režimech provozu JE. Naopak příspěvky od vnějších událostí způsobených extrémní přírodními událostmi zatím do PSA 2. úrovně zahrnuty nejsou, jelikož v doposud nebyly dopracovány tzv. PDS vektory pro jejich odpovídající scénáře.

19.1.4.4 Aktualizace studie PSA

Model PSA 1. úrovně je pravidelně v intervalu 1 až 2 roky aktualizován, přičemž jsou zahrnovány tyto změny:

- Modifikace projektu a zařízení.
- Změny předpisů.
- Změny ve zkoušení zařízení, např. změny testových intervalů.
- Změny ve způsobu údržby, pokud mají vliv na model PSA.
- Výsledky nových analýz nebo dalších skutečností, které se týkají PSA.

Modely PSA 2. úrovně jsou aktualizovány podle potřeby, přičemž poslední aktualizace pro Režimy 1 až 3 byla provedena v roce 2005. V roce 2013 byla dokončena PSA 2. úrovně pro odstavené a nevýkonové stavy, tzv. Shutdown PSA Level 2. Celková revize a aktualizace modelu PSA 2. úrovně s cílem zahrnutí plného rozsahu všech IU (včetně externích, způsobených přírodou) stejně jako v PSA 1. úrovně je plánována s dokončením v roce 2015.

Na základě provedených změn v modelu PSA je vždy provedena aktualizace modelu Safety Monitor (on-line prostředek pro pravděpodobnostní hodnocení jaderné bezpečnosti).

19.1.4.5 Technická přiměřenost PSA EDU

Analýza pravděpodobnostního hodnocení bezpečnosti provozu EDU byla podrobena v roce 1998 revizi IPERS, kterou provedl tým IAEA složený s odborníků USA, Španělska, Velké Británie, Maďarska a Ruska. Závěry revize prokázaly vysokou odbornou úroveň zpracování celé studie PSA EDU a kladně zhodnotily přístup, jakým EDU postupuje v oblasti hodnocení rizik provozu. Týmem byly doporučeny některé oblasti vhodné pro další detailnější analýzy, jako je např. hodnocení poruch se společnou příčinou, zejména při hodnocení vlivu prostředí, odhad frekvencí požárních událostí a detailnější analýzy spolehlivosti některých typů tzv. předhavarijních lidských zásahů. Všechna doporučení byla analyzována a v průběhu vývoje Living PSA odpovídajícím způsobem zapracována. V roce 2005 byla studie podrobena externí revizi firmou Enconet na základě požadavku SÚJB s cílem ověření vhodnosti studie a modelů pro aplikace PSA. Výsledkem revize bylo konstatování, že studie a modely PSA pro EDU (pro všechny režimy provozu) jsou vhodným základem pro aplikace PSA.

19.1.5 Definice stavů PSA pro JE Dukovany

V modelu PSA pro EDU jsou standardně uvažovány následující vrcholové (nežádoucí) události.

- **Poškození paliva v AZ.** Tato vrcholová událost je v PSA studii pro JE Dukovany 1. úrovně standardně definována překročením limitní teploty pokrytí palivových článků

[71] Development and Applications of Level 1 Probabilistic Safety Assessment and for Nuclear Power Plants, No. SSG-3, IAEA, 2010

[72] Bezpečnostní návod JB-1.6 Pravděpodobnostní hodnocení bezpečnosti, SÚJB, 2010

(1 200°C). V Režimech 5 a vyšších je toto kritérium v řadě případů aproximováno počátkem odhalování AZ.

- **Poškození paliva v AZ nebo BSVP.** Tato vrcholová událost je v PSA studii pro JE Dukovany 1. úrovně standardně definována překročením limitní teploty pokrytí palivových článků (1200°C). Jedná se o rozšíření záběru PSA i na palivo v BSVP či obecně mimo AZ. V případě BSVP je uvedené kritérium aproximováno počátkem odhalování paliva.
- **Velký časný únik.** Standardním kritériem přijatelnosti v PSA studii JE Dukovany 2. úrovně pro tuto vrcholovou událost je překročení limitních hodnot pro časný únik více než 1% jódu I-131 nebo Cs-137, přičemž pojmem „časný" lze vymezit události před selháním dna tlakové nádoby reaktoru a do 2 hodin po něm.

Míra rizika provozu reaktorových bloků JE Dukovany je v této souhrnné zprávě charakterizována následujícími veličinami:

- Průměrnou frekvencí poškození aktivní zóny (CDF) pro analyzované iniciační události ve všech režimech provozu.
- Průměrnou frekvencí poškození paliva v aktivní zóně a v bazénu skladu použitého paliva (FDF) pro analyzované iniciační události ve všech režimech provozu.
- Průměrnou frekvencí velkého časného úniku RA látek (LERF) v důsledku poškození paliva v aktivní zóně a v bazénu skladu použitého paliva pro analyzované iniciační události ve všech režimech provozu.

V rámci trvalé aktualizace modelu došlo k zahrnutí všech změn a modifikací v konfiguraci EDU. Dále byla provedena celková aktualizace spolehlivostních dat v modelu PSA. Jedná se aktualizaci parametrů pro nepohotovosti zařízení v důsledku údržby nebo opravy, spolehlivostní parametry komponent (včetně SKŘ a strojní a elektrické technologie), frekvence iniciačních událostí a délky PSA stavů.

19.1.5.1 Stručná definice PSA stavů pro EDU

V následující tabulce jsou stručně definovány jednotlivé PSA stavy, do kterých je v PSA studii rozčleněn provoz reaktorových bloků EDU. Jednotlivé režimy provozu bloku, na které se níže uvedená tabulka odkazuje, jsou podrobně definovány v Limitách a podmínkách (viz kap. Error: Reference source not found).

Tab. 53. Definice PSA stavů JE.

Definice PSA stavů
Režim 7 - palivo vyvezeno z aktivní zóny do bazénu skladu použitého paliva
Režim 1 - provoz na výkonu 100% - 2% N_{nom}
Režim 2 - nevýkonový provoz 0 - 2% N_{nom}
Režim 3 - horká rezerva (t_{HVS}[73] > 180°C)
Režim 4 - polohorká rezerva (t_{HVS} > 90°C), dochlazování s provozem HNČ
Režim 4 - polohorká rezerva, dochlazování s dochlazovacími čerpadly
Režim 5 - odstavení s dochlazováním při tlaku v primárním okruhu > 2MPa
Režim 5 - odstavení s dochlazováním při tlaku v primárním okruhu < 2MPa
Režim 6 - odstavení s roztěsněním reaktoru před výměnou paliva, nezaplavený bazén výměny
Režim 6 - odstavení s roztěsněním reaktoru, zaplavený bazén výměny na +21 m
Režim 6 - odstavení s roztěsněním reaktoru po výměnu paliva, nezaplavený bazén výměny
Režim 5 - náběh po VP při tlaku v primárním okruhu < 2MPa
Režim 5 - náběh po VP při tlaku primárním okruhu > 2MPa

[73] t_{HVS} = teplota horké větve cirkulační smyčky reaktoru

Definice PSA stavů
Režim 4 - polohorká rezerva (t_{HVS} > 90°C), náhřev primárního okruhu na t_{HVS} < 180°C po VP
Režim 6 - odstavení s roztěsněním primárního okruhu bez roztěsnění Re

19.1.5.2 Definice skupin vnitřních a vnějších iniciačních událostí

V následující tabulce jsou stručně definovány jednotlivé vnitřní iniciační události, které jsou v PSA studii EDU uvažovány:

Tab. 54. Definice skupin interních iniciačních událostí v PSA EDU

Popis skupiny iniciačních událostí
Studené natlakování tlakové nádoby reaktoru
Velký únik cirkulační chladicí vody ve strojovně
Záplava místnosti A242 (systém chlazení bazénu skladu TG)
Pád břemene do odkrytého bazénu výměny nebo bazénu skladu
Kompenzovatelná LOCA (0 - 10 mm)
Malá LOCA (10 - 20 mm)
Malá LOCA (20 - 60 mm)
Střední LOCA (60 - 200 mm)
Velká LOCA (200 - 500 mm)
Interfacing LOCA do systému TF10
Ztráta napájení z vnější sítě
LOCA do bazénu výměny
LOCA způsobená manipulacemi
Letící předměty ve strojovně a podélné etažérce
Vnitřní požáry vedoucí na LOCA
Vnitřní požáry vedoucí na ztrátu sekundárního okruhu
Nekontrolovaný vnos reaktivity
Ředění H_3BO_3 v primárním okruhu
Roztržení primárního kolektoru parogenerátoru
Prasknutí trubky nebo více trubek parogenerátoru
Roztržení hlavního parního kolektoru
Roztržení parovodu nebo napájecí trasy v kontejnmentu
Výpadek pracovní linie TVD
Roztržení napájecí trasy vně kontejnmentu
Výpadek linky 400 kV nebo napájení 110 kV
Výpadek pracovní rozvodny zajištěného napájení II. kategorie
Nechtěná drenáž sekundárního okruhu
Obecný přechodový stav po rychlém odstavení reaktoru
Ztráta cirkulační chladicí vody
Únik z napájecí nádrže
Výpadek čerpadel napájení parogenerátorů

Popis skupiny iniciačních událostí
Přerušení průtoku napájecí vody
Ztráta přirozené cirkulace ze strany primárního okruhu
Výpadek čerpadel chlazení BSVP

V následující tabulce jsou stručně definovány jednotlivé vnější iniciační události, které jsou v PSA studii uvažovány:

Tab. 55. Definice skupin externích iniciačních událostí v PSA EDU.

Popis skupiny IU
Pád letadla
Extrémní abrazivní bouře
Extrémní teploty vzduchu (vysoké, nízké)
Extrémní sněhové srážky
Extrémní vítr
Události spojené se seismicitou

19.1.5.3 Hodnocení úniku RA látek z kontejnmentu (PSA 2. úrovně)

Závažnost a následky jednotlivých typů havárií jsou hodnoceny podle úniku radioaktivních látek do okolí a jeho časování, které lze odvodit z údaje o hermetičnosti nebo velikosti a okamžiku (časné/pozdní) poškození kontejnmentu.

Za riziko je obecně považován součin následků a pravděpodobnosti jejich výskytu. V našem případě jsou následky rozděleny do tříd, riziko je tedy pravděpodobnost výskytu vysokých nebo vyšších tříd následků. Následky, tedy velikost úniku radioaktivních látek do okolí a jejich pravděpodobnost jsou kvantifikovány na základě stromu událostí rozvoje havárie.

Hlavním kritériem rizika je únik radionuklidů vyjádřený pomocí kategorie úniku dle následující tabulky:

Tab. 56. Základní kategorizace úniků v PSA 2 úrovně

Kategorie úniku	Definice
Velký (Large)	Více než 1% inventáře Cs-137
Nízký (Small)	Mezi 0,1 a 1% Cs-137
Velmi nízký (Low Low)	Méně než 0,1% Cs-137

Druhým kritériem je časové hledisko úniku dle následující tabulky:

Tab. 57. Časové rozlišení skupin úniků v PSA 2 úrovně

Časová úroveň	Definice
Časný únik	Únik (poškození kontejnmentu) před selháním dna tlakové nádoby reaktoru a do 2 hodin po tomto selhání. (Nezbývá čas na opatření v okolí elektrárny)
Pozdní únik	Únik (poškození kontejnmentu) po více než 2 hodinách od selhání nádoby. (Lze připravit opatření v okolí elektrárny)

Kombinací uvedených velikostí úniků podle velikosti úniku Cs-137 a časů jeho počátku pak vniká následujících pět kategorií úniků:

Tab. 58. Charakteristika skupin úniků v PSA 2 úrovně

Označení	Třída úniku	Definice
LER	Velký časný (Large Early)	Více než 1% inventáře Cs^{137} do 2h od prasknutí TNR
LLR	Velký pozdní (Large Late)	Více než 1% inventáře Cs^{137} po 2h od prasknutí TNR

Označení	Třída úniku	Definice
SER	Nízký časný (Small Early)	Mezi 0,1 a 1% Cs^{137} do 2h od prasknutí TNR
SLR	Nízký pozdní (Small Late)	Mezi 0,1 a 1% Cs^{137} po 2h od prasknutí TNR
VLR	Velmi nízký (Low Low)	Méně než 0,1% Cs^{137}

Smyslem třídy úniku LER (Large Early Release) je vymezit nejrizikovější havárie, tj. takové, kdy dojde k velkým následkům na okolí velmi brzy. Vzhledem k tomu, že neexistuje jednotná definice frekvence LER (LERF - Large Early Release Frequency), bylo rozhodnuto použít jako míru LER časný únik více než 1% cesia Cs-137, respektive jódu I-131 a ponechat vymezení významu „časný“ pro události před selhání dna tlakové nádoby reaktoru a do 2 hodin po něm. Takto definovaný velký časný únik tedy pokrývá přibližně únik odpovídající spodní hranici 7. stupně INES.

19.1.6 Souhrnné výsledky PSA pro EDU

Míra rizika provozu bloků EDU je charakterizována následujícími veličinami:

- průměrnou frekvencí poškození aktivní zóny (CDF) pro iniciační události, analyzované v PSA pro jednotlivé bloky EDU ve všech režimech provozu
- průměrnou frekvencí poškození paliva v aktivní zóně a v bazénu skladu použitého paliva (FDF) pro iniciační události, analyzované v PSA pro jednotlivé bloky EDU ve všech režimech provozu.
- průměrnou frekvencí velkého časného úniku RA látek (LERF) v důsledku poškození paliva v aktivní zóně a v bazénu skladu použitého paliva pro iniciační události, analyzované v PSA pro jednotlivé bloky EDU ve všech režimech provozu,

Výše uvedené veličiny jsou pak počítány ještě v závislosti na jednotlivých skupinách iniciačních událostí, na důležitých sekvencích iniciačních událostí nebo na jednotlivých PSA stavech, respektive režimech provozu bloků EDU.

Souhrnné výsledky studie PSA pro EDU jsou uvedeny v následující tabulce. Rozdíly mezi jednotlivými bloky jsou dány jednak rozdílnou konfigurací bloků (lichý x sudý blok), jednak použitím reálných dat spolehlivosti konkrétního zařízení:

Tab. 59. Sumární výsledky studie PSA EDU

Míra rizika	1. RB	2. RB	3. RB	4. RB
CDF [1/rok]	$8,54 \times 10^{-6}$	$7,81 \times 10^{-6}$	$7,85 \times 10^{-6}$	$7,90 \times 10^{-6}$
CDF_{R1} [1/rok]	$4,91 \times 10^{-6}$	$4,21 \times 10^{-6}$	$4,17 \times 10^{-6}$	$4,21 \times 10^{-6}$
CDF_{R2-R6} [1/rok]	$3,63 \times 10^{-6}$	$3,60 \times 10^{-6}$	$3,68 \times 10^{-6}$	$3,69 \times 10^{-6}$
FDF [1/rok]	$1,26 \times 10^{-5}$	$1,19 \times 10^{-5}$	$1,19 \times 10^{-5}$	$1,20 \times 10^{-5}$
LERF [1/rok]	$3,03 \times 10^{-6}$	$2,93 \times 10^{-6}$	$2,96 \times 10^{-6}$	$2,96 \times 10^{-6}$

CDF - hodnota současného odhadu průměrné roční frekvence poškození paliva v aktivní zóně pro vnitřní události pro všechny režimy provozu EDU.

CDF_{R1} - hodnota současného odhadu průměrné roční frekvence poškození paliva v aktivní zóně pro vnitřní události pro Režim 1 (provoz na výkonu 100% ¸ 2% Nnom).

CDF_{R2-R6} - hodnota současného odhadu průměrné roční frekvence poškození paliva v aktivní zóně pro vnitřní události pro Režimy 2 - 6 (provoz na nízkém výkonu a v nevýkonových stavech).

FDF - hodnota současného odhadu průměrné roční frekvence poškození paliva v aktivní zóně a v bazénu skladu použitého paliva pro vnitřní události ve všech režimech provozu JE.

LERF - hodnota současného odhadu velkého časného úniku RA látek v důsledku poškození paliva v aktivní zóně a v bazénu skladu použitého paliva pro vnitřní události ve všech režimech provozu JE

Z mezinárodních požadavků a doporučení (INSAG 12) vyplývá, že pro stávající provozované bloky je cílem dosažení pravděpodobnosti frekvence těžkého poškození aktivní zóny reaktoru menší než 10^{-4} událostí/rok a pro pravděpodobnost velkého časného úniku RA látek (LERF) by měla být menší než 10^{-5} událostí/rok. Z PSA EDU 1. a 2. úrovně vyplývá, že **uvedené mezinárodní doporučení jaderná elektrárna Dukovany splňuje.**

19.1.6.1 Analýza iniciačních událostí PSA 1 a 2 EDU

Jedním z hlavních výstupů PSA 1. úrovně je určení frekvence poškození paliva pro každou ze skupin iniciačních událostí. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty CDF a FDF pro jednotlivé skupiny iniciačních událostí pro 1.blok EDU. Pro zbylé RB je kvantitativní zastoupení jednotlivých iniciačních událostí obdobné.

Tab. 60. Frekvence poškození paliva v aktivní zóně nebo bazénu skladu použitého paliva pro skupiny vnitřních iniciačních událostí (PSA1)

Popis skupiny IU	CDF [1/rok]	Podíl na CDF	FDF [1/rok]	Podíl na FDF
Studené natlakování TNR	$8,0 \times 10^{-8}$	0,9%	$8,0 \times 10^{-8}$	0,6%
Velký únik CCHV ve strojovně	$2,9 \times 10^{-8}$	0,3%	$2,9 \times 10^{-8}$	0,2%
Záplava místnosti čerpadel chlazení BSVP	-	-	$2,2\ 10^{-8}$	0,2%
Pád břemene do odkrytého BV nebo BSVP	$1,4 \times 10^{-7}$	1,6%	$4,19 \times 10^{-6}$	33%
Kompenzovatelná LOCA (0 – 10 mm)	$5,5 \times 10^{-8}$	0,6%	$5,5 \times 10^{-8}$	0,4%
Malá LOCA (10 – 20 mm)	$9,9 \times 10^{-7}$	12%	$9,9 \times 10^{-7}$	7,9%
Malá LOCA (20 – 60 mm)	$1,09 \times 10^{-8}$	13%	$1,09 \times 10^{-6}$	8,7%
Střední LOCA (60 – 200 mm)	$1,27 \times 10^{-6}$	15%	$1,27 \times 10^{-6}$	10,1%
Velká LOCA (200 – 500 mm)	$1,9 \times 10^{-7}$	2,2%	$1,9 \times 10^{-7}$	1,5%
Interfacing LOCA do systému TF10	$3,0 \times 10^{-7}$	3,5%	$3,0 \times 10^{-7}$	2,4%
Ztráta napájení z vnější sítě	$1,0 \times 10^{-7}$	1,2%	$1,0 \times 10^{-7}$	0,8%
LOCA do bazénu výměny	$6,3 \times 10^{-8}$	0,7%	$6,3 \times 10^{-8}$	0,5%
LOCA způsobená manipulacemi	$8,8 \times 10^{-8}$	1,0%	$8,8 \times 10^{-8}$	0,7%
Letící předměty ve strojovně a v prostoru podélné etažérky	$1,6 \times 10^{-7}$	1,9%	$1,6 \times 10^{-7}$	1,3%
Vnitřní požáry vedoucí na LOCA	$3,6 \times 10^{-8}$	0,4%	$3,6 \times 10^{-8}$	0,3%
Vnitřní požáry vedoucí na ztrátu sekundárního okruhu.	$8,5 \times 10^{-7}$	10%	$8,5 \times 10^{-7}$	6,8%
Nekontrolovaný vnos reaktivity	$2,3 \times 10^{-7}$	2,7%	$2,3 \times 10^{-7}$	1,8%
Ředění H_3BO_3 v primárním okruhu	$6,7 \times 10^{-8}$	0,8%	$6,7 \times 10^{-8}$	0,5%
Roztržení kolektoru PG	$3,3 \times 10^{-7}$	3,9%	$3,3 \times 10^{-7}$	2,6%
Prasknutí trubky nebo více trubek PG	$2,4 \times 10^{-7}$	2,8%	$2,4 \times 10^{-7}$	1,9%
Roztržení HPK	$3,0 \times 10^{-7}$	3,5%	$3,0 \times 10^{-7}$	2,4%
Roztržení parovodu nebo napájecí trasy v HP	$1,4 \times 10^{-9}$	<0,1%	$1,4 \times 10^{-9}$	<0,1%
Výpadek pracovní linie TVD	$< 10^{-9}$	<0,1%	$< 10^{-9}$	<0,1%
Roztržení HNK, HVK nebo nap. Trasy vně HP	$5,0 \times 10^{-9}$	0,1%	$5,0 \times 10^{-9}$	<0,1%
Výpadek linky 400kV nebo napájení 110kV	$3,7 \times 10^{-8}$	0,4%	$3,7 \times 10^{-8}$	0,3%

Výpadek pracovní rozvodny ZN II. Nebo NZN	4,5 x 10^{-7}	5,3%	4,5 x 10^{-7}	3,6%
Nechtěná drenáž sekundárního okruhu	1,1 x 10^{-7}	1,3%	1,1 x 10^{-7}	0,9%
Obecný transient po rychlém odstavení reaktoru	1,3 x 10^{-8}	0,2%	1,3 x 10^{-8}	0,1%
Ztráta CCHV	3,1 x 10^{-7}	3,6%	3,1 x 10^{-7}	2,5%
Únik z NN	6,5 x 10^{-9}	0,1%	6,5 x 10^{-9}	0,1%
Výpadek čerpadel napájení PG	2,0 x 10^{-7}	2,3%	2,0 x 10^{-7}	1,6%
Přerušení průtoku NV	1,5 x 10^{-7}	1,8%	1,5 x 10^{-7}	1,2%
Ztráta přirozené cirkulace ze strany primárního okruhu	6,2 x 10^{-7}	7,3%	6,2 x 10^{-7}	4,9%
Výpadek čerpadel chlazení BSVP	-	-	< 10^{-9}	<0,1%
	8,54 x 10^{-6}	100%	1,26 x 10^{-5}	100%

Jedním z hlavních výstupů PSA 2. úrovně je určení hodnot LERF pro každou ze skupin vnitřních iniciačních událostí. V následující tabulce jsou tyto hodnoty uvedeny pro jednotlivé skupiny iniciačních událostí pro 1. blok EDU. Pro zbylé RB je kvantitativní zastoupení jednotlivých iniciačních událostí obdobné.

Tab. 61. Frekvence třídy úniků LER pro jednotlivé skupiny vnitřních iniciačních událostí (PSA2)

Popis skupiny IU	FDF [1/rok]	Podíl na FDF	LERF [1/rok]	Podíl na LERF
Studené natlakování tlakové nádoby reaktoru	8,0 x 10^{-8}	0,6%	3,6 x 10^{-8}	1,2%
Velký únik cirkulační chladicí vody ve strojovně	2,9 x 10^{-8}	0,2%	2,5 x 10^{-8}	0,8%
Záplava místnosti A242	2,2 x 10^{-8}	0,2%	< 1 x 10^{-9}	<0,1%
Pád břemene do odkrytého bazénu výměny	4,19 x 10^{-6}	33%	2,6 x 10^{-7}	8,6%
Kompenzovatelná LOCA (0 - 10 mm)	5,5 x 10^{-8}	0,4%	1,3 x 10^{-8}	0,4%
Malá LOCA (10 - 20 mm)	9,9 x 10^{-7}	7,9%	5,9 x 10^{-7}	20%
Malá LOCA (20 - 60 mm)	1,09 x 10^{-6}	8,7%	4,2 x 10^{-7}	14%
Střední LOCA (60 - 200 mm)	1,27 x 10^{-6}	10%	2,0 x 10^{-7}	6,6%
Velká LOCA (200 - 500 mm)	1,9 x 10^{-7}	1,5%	2,6 x 10^{-8}	0,9%
Interfacing LOCA do systému TF10	3,0 x 10^{-7}	2,4%	2,8 x 10^{-7}	9,3%
Ztráta napájení z vnější sítě	1,0 x 10^{-7}	0,8%	3,2 x 10^{-8}	1,1%
LOCA do bazénu výměny	6,3 x 10^{-8}	0,5%	1,5 x 10^{-8}	0,5%
LOCA způsobená manipulacemi	8,8 x 10^{-8}	0,7%	4,3 x 10^{-8}	1,4%
Letící předměty ve strojovně a v prostoru podélné etažérky	1,6 x 10^{-7}	1,3%	9,1 x 10^{-8}	3,0%
Vnitřní požáry vedoucí na LOCA	3,6 x 10^{-8}	0,3%	1,8 x 10^{-8}	0,6%
Vnitřní požáry vedoucí na ztrátu sekundárního okruhu	8,5 x 10^{-7}	6,8%	9,0 x 10^{-8}	3,0%
Nekontrolovaný vnos reaktivity	2,3 x 10^{-7}	1,8%	7,9 x 10^{-9}	0,3%
Ředění H_3BO_3 v primárním okruhu	6,7 x 10^{-8}	0,5%	1,1 x 10^{-8}	0,4%
Roztržení kolektoru parogenerátoru	3,3 x 10^{-7}	2,6%	2,4 x 10^{-7}	8,0%
Prasknutí trubky nebo více trubek parogenerátoru	2,4 x 10^{-7}	1,9%	1,1 x 10^{-7}	3,6%

Popis skupiny IU	FDF [1/rok]	Podíl na FDF	LERF [1/rok]	Podíl na LERF
Roztržení hlavního parního kolektoru	$3{,}0 \times 10^{-7}$	2,4%	$2{,}9 \times 10^{-8}$	1,0%
Roztržení parovodu nebo napájecí trasy v HP	$1{,}4 \times 10^{-9}$	<0,1%	$< 1 \times 10^{-9}$	<0,1%
Výpadek pracovní linie TVD	$< 1 \times 10^{-9}$	<0,1%	$< 1 \times 10^{-9}$	<0,1%
Roztržení HNK, HVK nebo nap. trasy vně HP	$5{,}0 \times 10^{-9}$	<0,1%	$< 1 \times 10^{-9}$	<0,1%
Výpadek linky 400kV nebo napájení 110kV	$3{,}7 \times 10^{-8}$	0,3%	$6{,}0 \times 10^{-9}$	0,2%
Výpadek pracovní rozvodny ZN II. nebo NZN	$4{,}5 \times 10^{-7}$	3,6%	$9{,}0 \times 10^{-8}$	3,0%
Nechtěná drenáž sekundárního okruhu	$1{,}1 \times 10^{-7}$	0,9%	$4{,}0 \times 10^{-8}$	1,3%
Obecný transient po rychlém odstavení Re	$1{,}3 \times 10^{-8}$	0,1%	$1{,}0 \times 10^{-9}$	0,0%
Ztráta cirkulační chladicí vody	$3{,}1 \times 10^{-7}$	2,5%	$1{,}3 \times 10^{-7}$	4,3%
Únik z napájecích nádrží	$6{,}5 \times 10^{-9}$	0,1%	$< 1 \times 10^{-9}$	<0,1%
Výpadek čerpadel napájení parogenerátorů	$2{,}0 \times 10^{-7}$	1,6%	$6{,}5 \times 10^{-8}$	2,2%
Přerušení průtoku napájecí vody	$1{,}5 \times 10^{-7}$	1,2%	$6{,}1 \times 10^{-8}$	2,0%
Ztráta přirozené cirkulace ze strany primárního okruhu	$6{,}2 \times 10^{-7}$	4,9%	$8{,}4 \times 10^{-8}$	2,8%
Výpadek čerpadel TG chlazení bazénu skladu použitého paliva	$< 1 \times 10^{-9}$	<0,1%	$< 1 \times 10^{-9}$	<0,1%
	$1{,}26 \times 10^{-5}$	100%	$3{,}03 \times 10^{-6}$	100%

Kvantitativní výsledky studie PSA jsou použity k prioritizaci opatření v oblastech dle kap. 19.1.3. Vzhledem k tomu, že se jedná o průběžný proces zlepšování, tak současné uvedené výsledky již zahrnují minulé aktivity, které měly za následek trvalá zvyšování bezpečnosti a vedly k současné úrovni CDF, FDF i LERF. V principu jsou tak vybírány události s největším příspěvkem k danému parametru a hledá se vhodná úprava zařízení, komponenty či stavu, který k příspěvku vede tak aby byla výše příspěvku efektivně snížena.

19.2 Nadprojektové a těžké havárie

Při výstavbě jaderné elektrárny jsou všechna zařízení i komponenty projektovány tak, aby elektrárna jako celek byla schopna zvládnout co nejširší spektrum událostí (poruch a havárií), jejichž vznik je možno předvídat. Tyto události jsou definovány národní legislativními předpisy (SÚJB) a mezinárodními doporučeními (IAEA, WENRA apod.). V projektu je definována tzv. maximální projektové událost, na kterou jsou dimenzovány bezpečnostní systémy, připraveny postupy řešení a cvičena obsluha. V případě reaktorů VVER 440 typ VV213 bylo jako maximální projektová událost definováno roztržení jedné studené smyčky hlavního cirkulačního potrubí Js 500 gilotinovým řezem a následný výtok chladicího média z obou konců při současné plné provozuschopnosti pouze jedné bezpečnostní divize (ze tří) a dvou ze čtyř pasivních hydroaktumulátorů. Pro tento základní scénář byly projektovány všechny systémy jaderné elektrárny Dukovany. Z této maximální projektové události pak jsou odvozeny jednotlivé postulované iniciační události (PIU), které jsou analyzovány a posuzovány a jsou zpracovány odezvy elektrárny na tyto události.

Při projektování elektrárny jsou pak použity projektové zásady (redundance, diverzita atd.) tak, aby systémy pro zvládání všech PIU byly dostatečně nezávislé a spolehlivé a bylo zajištěno plnění základních bezpečnostních funkcí při jakékoli postulované iniciační události. Výsledky hodnocení PIU jsou uvedeny kapitole 15 této Zprávy. Robustnost a odolnost elektrárny je pravidelně hodnocena na několika úrovních, přičemž výsledky hodnocení jsou předkládány státnímu dozoru (SÚJB).

V této kapitole 19.2 je však diskutována problematika situace, do které se jaderná elektrárna může dostat po určité vyvolané události (ať už externí nebo interní) a zároveň dojde k selhání projektových prostředků pro její řešení. Při selhání projektových prostředků

pak může dojít k těžké havárii, tj. takové situaci, kdy je již narušeno plnění základních bezpečnostních funkcí a strategie dalších činností směřuje na:

- Zmírnění následků narušení bezpečnostních funkcí na elektrárnu a okolí
- Návrat technologie do takového stavu, kdy je plnění bezpečnostních funkcí obnoveno

Těžká havárie je spojena s poškozením jaderného paliva (ať už v aktivní zóně reaktoru nebo v bazénu sklady použitého paliva) a úniku štěpných produktů přes druhou i třetí bariéru až do bariéry čtvrté a je tedy spojena s šířením RA látek uvnitř kontejnmentu se zvýšeným rizikem jejich úniku do životního prostředí. Zmírněním následků se tak rozumí právě minimalizace úniku štěpných produktů mimo kontejnment, návratem k plnění bezpečnostních funkcí pak snižování jejich produkce v poškozeném palivu především obnovením jeho chlazení.

Prakticky lze tedy říci, že k těžké havárii dojde tehdy, když existuje silná iniciační událost a zároveň dojde k selhání všech bezpečnostních systémů. Přes velmi nízkou pravděpodobnost takové události (viz výsledky předchozí kapitoly 19.1.6) je nutno se takovými situacemi zabývat, neboť světová praxe ukazuje, že nejsou zcela vyloučeny. Celá filosofie řešení těžkých havárií má dva základní pohledy:

- Posouzení robustnosti projektu na externí a interní vlivy a případné zodolnění. Zde se tedy řeší další minimalizace pravděpodobnosti vzniku těžké havárie se zahrnutím rozšířených rizik, které na elektrárnu působí.
- Zavedení takových technických prostředků, které zmírní následky těžké havárie. Přitom již není důležité, zda k ní může dojít či nikoli, ale vycházíme ze stavu, že již nastala.

V následujícím textu je jednak uvedeno shrnutí hodnocení JE Dukovany, které bylo provedeno na základě požadavku ENSREG po události ve Fukushimě 2011 a dále je uveden popis prostředků pro zmírnění následků havárie, spojené s poškozením paliva.

19.2.1 Odolnost JE Dukovany vůči vnějším vlivům

Z důvodu zajištění prevence vůči těžkým haváriím byla elektrárna Dukovany hodnocena na odolnost vůči vnějším vlivům a násobným poruchám. Hodnocení proběhlo v následujících oblastech:

- Zemětřesení
- Zaplavení/zatopení
- Extrémní meteorologické jevy (teplota, sníh, vítr)
- Úplná ztráta střídavého napájení
- Úplná ztráta koncového jímače tepla
- Kombinace úplné ztráty střídavého elektrického napájení a úplné ztráty koncového jímače tepla

Počátečním stavem hodnocení elektrárny byl normální provoz (režimy R1 až R7). Počáteční podmínky hodnocení byly uvažovány jako realistické, přičemž hodnocení bylo provedeno pro všechny provozní režimy a po vzniku nepříznivé situace byl reaktor odstaven systémem RTS. Nebyly uvažovány žádné další nezávislé poruchy, avšak událost se týkala všech 4 bloků, pro výpočty byly uvažovány konzervativní hodnoty zbytkového výkonu aktivní zóny a paliva v bazénech skladu. Rovněž byla předpokládána izolace elektrárny od okolí po dobu 72 hodin (tedy bez pomoci zvenčí).

Hodnocení se soustředilo na vyhodnocení odolnosti zařízení, jehož funkčnost je nutná k zajištění bezpečnostních funkcí, vůči projektovému i extrémnímu vlivu. Dále na vyhodnocení dostatečnosti časové nezávislosti elektrárny na okolí pro případ, že by z důvodu události byla po určitou dobu omezena možnost použití vnějších zdrojů energie, vody či provádění havarijních zásahů z vnějšku.

Hodnocení bylo provedeno s využitím kombinace deterministických a pravděpodobnostních metod a inženýrského úsudku byl proveden výběr bezpečnostně

nejvýznamnějších nadprojektových událostí (tzv. rozšířené podmínky DEC), byly realizovány jejich bezpečnostní analýzy a stanoveny takové události, pro které je potřebné a současně rozumně proveditelné zavést v projektu jaderného zařízení odpovídající preventivní či zmírňující technická a organizační opatření.

Pro analýzy těžkých havárií mohou být stanovena méně konzervativní kritéria přijatelnosti, mohou být použity realistické předpoklady analýzy – tzv. best estimate přístup (není nutné uplatňovat kritérium jednoduché poruchy, lze uvažovat zásahy systémů neklasifikovaných jako bezpečnostní apod.). Pro diverzní či alternativní postupy, které jsou uváděny dále v jednotlivých kapitolách, byly zpracovány zásahové instrukce. Tyto instrukce byly připraveny na základě praktického odzkoušení jednotlivých postupů. Odzkoušení ověřilo možnost provedení jak po stránce technické (tedy ověření funkčnosti postupu), tak po stránce organizační (tedy schopnost postup zvládnout kapacitami zásahových týmů). V rámci pravidelných havarijních cvičení jsou tyto postupy dále trénovány a na základě zkušeností z výcviku zlepšovány.

Při popisu jednotlivých sekvencí a postupů se zvažuje použití všech prostředků pro řešení dané situace, nikoli pouze bezpečnostních systémů. Důvodem je snaha hodnotit a popsat všechny varianty řešení, neboť i v případě nadprojektových událostí mohou některé bezpečnostní nebo pomocné systémy zůstat funkční a nepoškozené, přestože nemusí mít dostatečnou kvalifikaci na okolní prostředí. Důvodem může být například jejich umístění, kdy působení extrémních podmínek v daném místě nebylo tak silné jako jinde. Dále například v případě rozsáhlé poruchy elektročásti a ztráty střídavého napájení může být strojní část zařízení nepoškozena a při zajištění elektrického napájení alternativním způsobem připravena plnit svoji projektovou nebo alternativní funkci.

Kritériem přijatelnosti bylo prokázání dostatečné odolnosti zařízení, jehož funkčnost je nutná k zajištění bezpečnostních funkcí, vůči události a zajištění plnění bezpečnostních funkcí pro dobu očekávanou k obnovení podpory havarijního řízení z okolí. Pro projektovou hodnotu parametru iniciační události musí být zajištěn přechod do stavu bezpečného odstavení bez významných radiologických následků. Zároveň musí být prokázána dostatečná rezerva v odolnosti zařízení tak, aby nedošlo při události o rozumně vyšší intenzitě než projektové k přechodu události do podmínek těžké havárie. Zároveň musí být dodrženy radiologické cíle pro projektové nehody.

19.2.1.1 Zemětřesení

Bez ohledu na reálné seismické ohrožení lokality jsou všechna bezpečnostně významná zařízení i stavební objekty zodolněny na minimální hodnotu zrychlení v horizontálním směru 0,1 g. Na základě mimořádných kontrol z hlediska seismické odolnosti, které byly po události na JE Fukushima Daichi provedeny v květnu 2011, nebyly identifikovány žádné závažné nesoulady aktuálního stavu s požadavky projektu. V rámci tzv. zátěžových testů bylo ověřeno, že pro zemětřesení, která reálně přicházejí do úvahy, není ohroženo plnění ani jedné ze tří základních bezpečnostních funkcí.

Projekt EDU počítá s tím, že případná vážná seismická událost by mohla poškodit seizmicky neodolná zařízení a objekty, což by mohlo vést k odpojení EDU od energetické sítě a dodávek médií. Elektrické napájení pro zajištění základních bezpečnostních funkcí by bylo při tomto scénáři zajišťováno nouzovými zdroji napájení (dieselgenerátory a akumulátorové baterie), které jsou umístěny v seizmicky odolných objektech. Provozní zásoba nafty v seizmicky odolných objektech je dostatečná pro několikadenní provoz dieselgenerátoru. Další doplňování nafty by bylo zajištěno cisternami.

Prokázaná zásoba vody na lokalitě v seizmicky odolných objektech je dostatečná pro odvod tepla z odstavených reaktorů a z bazénů použitého paliva v řádu týdnů.

Pro všechna zemětřesení, která přicházejí do úvahy v lokalitě Dukovany, není ohroženo plnění základních bezpečnostních funkcí. Sekvence události by byla následující:

- Reaktor bude odstaven ochranou RTS automaticky od výpadků zařízení resp. ručně tlačítkem.

- Dochlazování bloku po seismické události by bylo prováděno v režimu feed&bleed na sekundární straně (napájení parogenerátorů prostřednictvím superhavarijních napájecích čerpadel, odvod páry přes PSA nebo PVPG)[74]
- Reaktory by byly uvedeny do stabilizovaného polohorkého stavu a o způsobu jejich dlouhodobého chlazení by bylo rozhodnuto až po provedení obhlídky poškození zařízení a budov.
- Alternativně je uvažováno i s plněním parogenerátorů pomocí prostředků Hasičského záchranného sboru podniku (HZSp) s využitím mobilních čerpadel.
- Alternativně lze použít nouzový způsob dochlazování v režimu feed&bleed na primární straně (otevření odlehčovacího ventilu kompenzátoru objemu, doplňování primárního okruhu čerpadlem TJ a chlazením pomocí TVD).
- Odvod tepla z bazénů skladování by byl zajištěn stejně jako před událostí, tj. systémem chlazení skladování použitého paliva TG.
- Alternativně lze také chladit bazény skladování pomocí nouzového čerpadla (FOX) v rámci zásahu HZSp na reaktorovém sále.

Seizmické hodnocení stavebních konstrukcí na hranici kontejnmentu prokázalo, že nedojde při zemětřesení do 0,1g k porušení hermetičnosti a to dokonce i v kombinaci se zatížením od LOCA havárie a s dalšími předepsanými zatíženími. Integrita kontejnmentu je zaručena. Velké nádrže, které by mohly po své destrukci při seizmické události vytopit objekty s bezpečnostně významným zařízením (např. porušené napájecí nádrže nebo zásobníky TVD na sekundárním okruhu by mohly vytopit elektrické rozvodny v přízemí), byly zhodnoceny z pohledu seizmické odolnosti a jsou po provedených úpravách dostatečně ukotveny do stavby, aby nedošlo ke ztrátě integrity nebo k nežádoucí interakci.

Obr XX - příklad seismického zodolnění zařízení - nenašel jsem obrázek.

V případě rozsáhlého poškození infrastruktury v širším okolí EDU (zřícení budov, poškození dopravních komunikací atd.) v důsledku zemětřesení by se střídající personál nemusel dostat na lokalitu. V tomto případě by musel požadované činnosti zabezpečovat personál, který tam bude přítomen v době vzniku události. Vystřídání by bylo řešeno operativně v součinnosti s orgány státní správy (Integrovaný záchranný systém (IZS), armáda, apod.).

V areálu EDU je nepřetržitě přítomna jednotka HZSp včetně mobilní techniky pro hašení požárů, čerpání vody a záchranu osob a majetku. Budova HZSp patří rovněž mezi objekty seizmicky zodolněné, přesto i pro případ poškození tohoto objektu je na EDU k dispozici alternativní mobilní technika, uskladněná na různých místech v kontejnerech tak, aby bylo vyloučeno riziko jejich současného poškození. Případné poškození jednotlivých kontejnerů nezpůsobí neprovozuschopnost uskladněného zařízení. HZSp je vybaven prostředky pro odstranění trosek v důsledku pádu seizmicky nezodolněných budov a obnovení průjezdnosti na vnitřních komunikacích i na příjezdové komunikaci do EDU. Alternativně by do areálu EDU bylo možné použít záložní vjezd.

Z důvodu minimalizace rizika ohrožení komunikace uvnitř i vně JE Dukovany byly doplněny pro zabezpečení krizové komunikace satelitní mobilní telefony, které byly rozmístěny na jednotlivá pracoviště v rámci organizace havarijní odezvy. Jako nouzové řešení jsou připraveny polní telefony včetně spojovacích tras.

Pro případ hypotetického silného zemětřesení bylo provedeno seismické zodolnění hlavních systémů monitorujících radiační situaci uvnitř a na hranici areálu JE Dukovany.

Po seizmickém zodolnění zařízení a staveb se hranice, kdy může dojít ke ztrátě základních bezpečnostních funkcí, zvýšila až na úroveň zemětřesení intenzity > 0,1g. Maximální projektové zemětřesení s frekvencí možného výskytu 1 x 10 000 let má hodnotu 0,047 g a skutečná projektová odolnost 0,1 g, tzn. cca 2 násobná. Nejedná se přitom o hodnotu odolnosti, která by měla charakter hraničních podmínek „cliff edge“, každé zařízení má jinou

[74] Zásoba vody pro dochlazování pomocí feed&bleed na sekundární straně je dána množstvím vody v nádržích demivody (nádrže jsou rovněž zodolněny na 0,1g). Množství vody v těchto nádržích při odvodu tepla přes parogenerátory do atmosféry vystačí na cca 4 dny.

hodnotu hraniční seismické odolnosti s rozdílnou rezervou vůči 0,1g, která slouží jako minimální akceptační hodnota pro průkaz seizmické odolnosti. Vzhledem k bezpečnostním rezervám se očekává, že i při větším tzn. nadprojektovém zemětřesení, by některý z bezpečnostních systémů zůstal ve stavu schopném plnit bezpečnostní funkce.

Dochlazování při seizmické události > 0,1g by bylo nadále realizováno pomocí feed&bleed na sekundárním okruhu, respektive nouzově dochlazováním feed&bleed na primárním okruhu. Všechny komponenty pro použití ve výše uvedených postupech jsou již zodolněny na 0,1g, mají minimálně 200% redundanci a jsou napájeny ze zajištěného napájení ze seizmicky odolných dieselgenerátorů.

19.2.1.2 Zaplavení a zatopení

V případě JE Dukovany nelze uvažovat o možných záplavách z vodotečí (řeka Jihlava), neboť rozdíl mezi hladinou řeky a výškovou kótou elektrárny je mnoho desítek metrů. Případná povodňová vlna z poškozeného vodního díla Dalešice neohrožuje lokalitu EDU vzhledem k jejímu výškovému umístění. Ohrožena je pouze čerpací stanice surové vody Jihlava, avšak v případě odstavených bloků není funkce této stanice vyžadována a dostatečná zásoba surové vody je v gravitačních vodojemech. Při hodnocení vlivu přívalových záplavových dešťů na bezpečnost EDU se vychází z velmi konzervativních předpokladů:

- Dojde k ucpání všech dešťových vpustí (vyjma svodů z budov).
- Nastanou jednodenní dešťové srážky s opakovatelností 10 000 let, při které dojde ke spadu vody 125 mm/24 hodin[75].

Ze stavebních objektů s bezpečnostním zařízením jsou nejníže umístěny objekty „Přístavek superhavarijního napájení“, který je 14 cm výše než okolní terén, následuje dieselgenerátor 1, který je o 17 cm výše než okolní terén.

Provozní zkušenosti ze spouštění a provozního využívání jaderných elektráren s reaktory typu VVER řeší i potenciální možnost ohrožení vybraných systémů a zařízení JE, důležitých pro bezpečnost JE, vnitřními záplavami. Základním východiskem k posouzení důsledků vnitřního zaplavení na bezpečnost provozu EDU jsou výsledky aktuálních prací z dané oblasti, výsledky kvalifikace zařízení EDU a zkušenosti a přístupy k řešení tohoto problému na jaderných elektrárnách s VVER podobného typu. Z analýz vyplývá, že tyto události nebrání bezpečnému odstavení a dochlazení reaktorových bloků.

Hodnocení se soustředilo na vyhodnocení odolnosti zařízení, jehož funkčnost je nutná k zajištění bezpečnostních funkcí, vůči projektovému i extrémnímu zaplavení/zatopení a dále na vyhodnocení dostatečnosti časové nezávislosti elektrárny na okolí pro případ, že by z důvodu zaplavení/zatopení byla po určitou dobu omezena možnost použití vnějších zdrojů energie, vody či provádění havarijních zásahů z vnějšku. Je vyhodnocena odezva na zaplavení/zatopení o úrovni projektové (s návratností výskytu 1 x za 10 000 let, tj. déšť o intenzitě 125 mm/24 hodin) – a na extrémní zaplavení/zatopení o úrovni rozumně vyšší než projektové.

Pro včasnou indikaci vnitřních záplav, jako nepřímých účinků zemětřesení nebo poruchy, je implementován systém signalizací vody v místnostech a při indikaci hladiny vody v některé místnosti jsou v postupech popsány příslušné činnosti personálu jaderné elektrárny.

Pro všechny záplavy, která přicházejí do úvahy v lokalitě Dukovany, není ohroženo plnění základních bezpečnostních funkcí. Sekvence události by byla následující:

- Řízení reaktivity aktivní zóny reaktoru a bazénu skladování použitého paliva je nezávislé na vnějších záplavách a zabezpečuje dostatečnou podkritičnost. V případě jakéhokoli ohrožení záplavou by reaktor byl odstaven ručně.
- V případě vnější záplavy (vydatného deště) je funkce odvodu tepla zajištěna provozními prostředky, případně bezpečnostními systémy. Tyto nebudou nijak zasaženy.
- Odvod zbytkového tepla z použitého jaderného paliva uloženého v bazénech skladování je závislý jednak na funkci zařízení umístěného v místnostech budovy

[75] Pro hodnocení vlivu deště se vychází z kumulativního nahromadění celého srážkového množství za 24 hodin (125 mm) na terénu elektrárny a z výškového zaměření terénu a cest areálu elektrárny

reaktorů a jednak na funkci systému technické vody důležité (TVD) včetně ventilátorových chladících věží. V případě vnější záplavy tyto systémy nejsou postiženy.
- Integrita kontejnmentu včetně vakuobarbotážního systému nemůže být ohrožena v důsledku záplavy silným deštěm.

Na rozdíl od záplav z vnějších příčin, vnitřní záplavy mají vesměs pouze lokální charakter nebo se dají velice jednoduše zvládnout (vypnutím čerpadel) a u redundantních bezpečnostních systémů jsou považovány za jednu z možných příčin ztráty dotčené bezpečnostní funkce v příslušné divizi, přičemž vzhledem k redundanci a fyzickému prostorovému oddělení systémů se neuvažuje o záplavě jako o poruše ze společné příčiny. U nedůležitých systémů vyplavení jednoho prostoru znamená ztrátu příslušné technologické funkce na postiženém reaktorovém bloku, což však nemá bezpečnostní relevanci.

Všechny vstupy do potrubních a kabelových kanálů byly stavebními úpravami zvýšeny tak, aby nebyly v případě záplavy silným deštěm ohroženy vodou a nedošlo tak ke vniknutí vody do těchto kanálů.

Protože všechny kryty jsou umístěny v podzemí budov, kde by mohlo dojít k zaplavení, byly před vstupy všech krytů nainstalovány zábrany proti vodě, které lze velmi rychle zasunout do připravených držáků v případě hrozícího zaplavení spodních částí budov. Návod na jednoduchou instalaci je na zdech všech krytů umístěn nad protipovodňovými zábranami. HZSp disponuje nafukovacími vaky pro možnost operativního utěsnění libovolného objektu v případě potřeby.



Obr. 146. Příklad technického řešení zábrany proti extrémním srážkám – vstup do krytu

Pro zabezpečení ochrany proti záplavám vnějšího původu je pro udržení požadovaného stavu zařízení s projektem prováděna řada pravidelných činností. Jedná se o periodické kontroly, údržbu dešťové kanalizace a čištění šachet dle harmonogramu. Kontrola technického stavu kanalizačních tras je prováděna každoročně a potřebné opravy zajišťovány podle zjištěného stavu. Jedná se o kontrolu česlí (mříže) a záchytných košů, podle stavu se provádí jejich případná oprava nebo jejich výměna.

Na lokalitě EDU je k dispozici HZSp, který disponuje příslušnou technikou a je vycvičen nejen k hašení jakéhokoliv požáru, ale i k čerpání vody v kterémkoliv místě lokality. Hasební technika i personál je umístěn v objektu Požární stanice, který sice není speciálně chráněn proti zaplavení, ale nepředpokládá se, že by v případě záplavy v lokalitě EDU bylo znemožněno použití mobilní techniky pro hašení požárů.

19.2.1.3 Extrémní vítr

Jako součást bezpečnostního posouzení byla vyhodnocena odezva na vítr o intenzitě projektové s návratností výskytu 1 x za 10 000 let, s rychlostí nárazového větru 63,4 m/s. Následkem působení extrémního větru může dojít ke ztrátě vnějšího elektrického napájení. Při extrémním větru je nutné uvažovat s možným výpadkem sítí 400 kV a 110 kV (odolnost linek je na nárazový vítr okolo 38 m/s) s přechodem na nouzové zdroje napájení. V tomto případě je nejzávažnější ztráta napájení čerpací stanice surové vody Jihlava a tím nemožnost doplňování gravitačních vodojemů, jako zásobního zdroje TVD. Přesto tato skutečnost nemá zásadní bezpečnostní relevanci, neboť pro dlouhodobé chlazení bloků po jejich odstavení je zásoba chladicí vody v systémech a gravitačním vodojemu dostatečná.

Pro extrémní vítr v lokalitě Dukovany není ohroženo plnění základních bezpečnostních funkcí. Sekvence události by byla následující:

- Řízení reaktivity aktivní zóny reaktoru a bazénu skladování použitého paliva je nezávislé na extrémním větru a zabezpečuje dostatečnou podkritičnost. V případě jakéhokoli ohrožení vnější událostí by reaktor byl odstaven ručně.
- V případě extrémního větru je funkce odvodu tepla zajištěna provozními prostředky, případně bezpečnostními systémy. Tyto nebudou nijak zasaženy.
- V případě porušení integrity chladicích věží by byl reaktor ručně odstaven a dochlazování bloku by bylo prováděno standardními prostředky (technologický kondenzátor, TVD, případně přepouštěcí stanice do atmosféry)
- Odvod zbytkového tepla z použitého jaderného paliva uloženého v bazénech skladování je závislý jednak na funkci zařízení umístěného v místnostech budovy reaktorů a jednak na funkci systému technické vody důležité (TVD) včetně ventilátorových chladících věží. V případě extrémního větru tyto systémy nejsou postiženy.

Integrita kontejnmentu včetně vakuobarbotážního systému je zajištěna dostatečnou odolností stavební konstrukce vůči extrémnímu větru.

Chladicí věže jako provozní systém pro odvod tepla do atmosféry v průběhu normálního provozu nejsou kvalifikovány na odolnost proti extrémnímu větru. Jelikož bezpečnostní systém TVD má samostatný systém odvodu tepla do atmosféry a není propojen s chladicími věžemi (lze je však použít jako diverzní prostředek pro chlazení), nevede událost v důsledku extrémního větru ke snížení schopnosti odvodu tepla prostřednictvím TVD do koncového jímače tepla. V případě kolapsu chladicích věží by střecha CČS by mohla být částečně poškozena úlomky padajícího betonu, stejně tak by úlomky betonu mohly poškodit listy ventilátorů ventilátorové věže. Proto byly výstupy ventilátorových věží osazeny nerezovou mříží, která brání případnému poškození ventilátorů padajícími troskami.

Na účinky extrémního větru byly posouzeny všechny bezpečnostně významné budovy. Jedná se především o:

- Hlavní výrobní blok, podélná a příčná etažérka
- Strojovna
- Dieselgenerátorová stanice
- Ventilační komín
- Přístavek superhavarijních napájecích čerpadel
- Přístavek elektro – 4. systém zajištěného napájení
- Ventilátorové chladící věže TVD
- Centrální čerpací stanice
- Nádrže demivody 1000 m^3.

Hodnota projektová je 63,4 m/s a odpovídající zatížení 1,65 kN/m^2. Pro všechny hodnocené objekty byly provedeny výpočty mezního zatížení při namáhání větrem a všechny bezpečnostně významné budovy jsou dostatečně odolné. Je uvažována ztráta (poškození či destrukce) neodolných budov a zařízení, ztráta vnějšího napájení, ztráta dodávky vody do lokality a zhoršení možnosti přístupu na lokalitu. Výskyt vichřice včetně extrémního větru, lze včas předpovídat, a proto se EDU může na tuto eventualitu předem připravit. Výstrahu předem o možnosti silného větru dostává směnový inženýr elektrárny od ČHMU e-mailem nebo telefonicky. Sloužící členové havarijního štábu a TPS mají k dispozici automobily se

zvýšenou průchodností terénem pro případ nutnosti dojezdu do JE Dukovany po živelné katastrofě.

19.2.1.4 Extrémní sníh

Pro EDU byla rovněž vyhodnocena odezva na sněhové srážky o úrovni konzervativně stanovené zátěže sněhem s návratností výskytu 1 x za 10 000 let, v hodnotě přepočtené na vodní sloupec 206,7 mm s odpovídajícím zatížením 2,07 kN/m^2 a na sněhové srážky o intenzitě rozumně vyšší než projektové. Hmotnost zatížení sněhem se přepočítává na zatížení odpovídajícímu sloupci vody, protože sníh může mít různou strukturu a tedy různou měrnou hmotnost.

V případě extrémního sněhu se nejedná o okamžitý projev extrémního počasí. Proto je možné jednoduchými organizačními nebo technickými opatřeními (průběžné odstraňování napadaného sněhu, stříšky, kryty na důležitém zařízení) eliminovat dopady a zajistit plnění bezpečnostních funkcí. Hodnocení se soustředí na vyhodnocení odolnosti zařízení, jehož funkčnost je nutná k zajištění bezpečnostních funkcí, vůči projektové i extrémní intenzitě sněhových srážek, na vyhodnocení dostatečné časové nezávislosti elektrárny na okolí pro případ, že by z důvodu sněhových srážek byla po určitou dobu omezena možnost použití vnějších zdrojů energie, vody či provádění havarijních zásahů z vnějšku.

Pro extrémní sněhové srážky, která přicházejí do úvahy v lokalitě Dukovany, není ohroženo plnění základních bezpečnostních funkcí. Sekvence události by byla následující:

- Řízení reaktivity aktivní zóny reaktoru a bazénu skladování použitého paliva je nezávislé na extrémních sněhových srážkách a zabezpečuje dostatečnou podkritičnost. V případě jakéhokoli ohrožení vnější událostí by reaktor byl odstaven ručně.
- V případě extrémních sněhových srážek je funkce odvodu tepla zajištěna provozními prostředky, případně bezpečnostními systémy. Tyto nebudou nijak zasaženy.
- Odvod zbytkového tepla z použitého jaderného paliva uloženého v bazénech skladování je závislý jednak na funkci zařízení umístěného v místnostech budovy reaktorů a jednak na funkci systému technické vody důležité (TVD) včetně ventilátorových chladících věží. V případě extrémních sněhových srážek tyto systémy nejsou postiženy.

Integrita kontejnmentu včetně vakuobarbotážního systému nemůže být ohrožena neboť projektová odolnost stavební konstrukce je taková, že dodatečné zatížení vrstvou sněhu nijak neohrozí její pevnost.

Všechny bezpečnostně významné budovy jsou dostatečně odolné. Hodnoceny byly následující bezpečnostně významné budovy:

- Hlavní výrobní blok, podélná a příčná etažérka
- Strojovna
- Dieselgenerátorová stanice
- Ventilační komín
- Přístavek superhavarijních napájecích čerpadel
- Přístavek elektro – 4. systém zajištěného napájení
- Ventilátorové chladící věže TVD
- Centrální čerpací stanice
- Nádrže demivody 1000 m^3

Pro všechny hodnocené objekty byly provedeny výpočty mezního zatížení při namáhání sněhem. Je uvažována ztráta (poškození či destrukce) neodolných budov a zařízení, ztráta vnějšího napájení, ztráta dodávky vody do lokality a zhoršení možnosti přístupu na lokalitu. Organizačním opatřením je preventivní shrnování sněhu již při začátku běžných významných srážek. Při havarijních cvičení je periodicky prověřována součinnost v rámci spolupráce integrovaného záchranného systému ČR.

Výstrahu předem o možnosti silného sněžení dostává směnový inženýr elektrárny od ČHMU e-mailem nebo telefonicky. Stav ohrožení elektrárny v důsledku sněhu je řešen

vnitřními předpisy. Jedná se především o včasné zabezpečení sjízdnosti komunikací uvnitř areálu a na příjezdové trase nejpozději od vrstvy 10 cm sněhu a úklid sněhu ze střech, který směnový inženýr organizuje v předstihu nejpozději od vrstvy 20 cm sněhu. Činnosti v případě krupobití jsou obdobné, činnost organizuje směnový inženýr již od vrstvy 5cm.

19.2.1.5 Maximální teplota

Hodnocení odolnosti EDU vůči extrémně vysoké venkovní teplotě se soustředilo na vyhodnocení odolnosti zařízení, jehož funkčnost je nutná k zajištění bezpečnostních funkcí, a na vyhodnocení dostatečnosti časové nezávislosti elektrárny na okolí pro případ, že by z důvodu extrémní teploty byla po určitou dobu omezena možnost použití vnějších zdrojů energie, vody či provádění havarijních zásahů z vnějšku. Vstupní sady naměřených dat pro extrémní zatížení účinky venkovních teplot byly vybrány z měření venkovních teplot vzduchu na okolních meteostanicích. Pro hodnocení byla uvažována roční maxima v jednotlivých kalendářních letech. Za provoz při extrémně vysokých teplotách se uvažuje provoz při teplotě atmosféry 46,3 °C po dobu 6 hodin denně.

Pokud by při těchto podmínkách došlo k rozpadu vnější sítě (400 kV i 110 kV) při zregulování na vlastní spotřebu, zůstane v provozu elektrické napájení čerpací stanice Jihlava a do jímek TVD je možno dodávat vodu z přehrady, což postačuje k dlouhodobému chlazení na teplotu TVD nižší než 33 °C. Rovněž by bylo možno udržet v provozu stanici zdroje chladu a tím chladit důležité chladiče místností elektro a SKŘ pomocí chlazené vody.

Pokud by při rozpadu sítě nezreguloval žádný blok na vlastní spotřebu, napájení vlastní spotřeby bloků by přešlo na nouzové zdroje (dieselgenerátory) a silové sekce nezajištěného napájení by byly bez napětí. Ztratila by se tak možnost doplňování chladné vody z čerpací stanice Jihlava. V této situaci by došlo k přepnutí na rozstřik na ventilátorové věži a najetí ventilátoru na vysokootáčkový režim. Tak je možno teplotu TVD dlouhodobě udržovat na teplotě nižší než 33 °C, což je hodnota technických podmínek stanovených pro dlouhodobý provoz dieselgenerátoru (na plném výkonu) a technologického kondenzátoru pro odvod zbytkového tepla. Je zřejmé, že ani při teplotě TVD vyšší než 33 °C nedojde k výpadku dieselgenerátoru. Jeho provoz by byl nadále možný za předpokladu adekvátního snížení výkonu tak, aby se dodržela teplota mazacího oleje a teplota chladiva vnitřního okruhu chlazení.

Kromě rozpadu přenosových linek 400kV a 110kV hrozí teplotní přetížení vývodových transformátorů, které by pravděpodobně jako první vynutily snížení výkonu bloků na cca 40% N_{nom}. Řízené snížení výkonu bloků až na úroveň vlastní spotřeby se předpokládá po růstu teploty cirkulační chladicí vody nad 33°C a rostoucí teploty vzduchu. Při teplotě TVD 28° C nabíhá automaticky nízkootáčkový provoz ventilátoru, při teplotě TVD 30°C přejde provoz ventilátoru na vysokootáčkový. Ručně může operátor spustit ventilátor v předstihu.

Pro extrémní vysoké teploty, která přicházejí do úvahy v lokalitě Dukovany, není ohroženo plnění základních bezpečnostních funkcí. Sekvence události by byla následující:

- Řízení reaktivity aktivní zóny reaktoru a bazénu skladování použitého paliva je nezávislé na teplotě atmosféry a zabezpečuje dostatečnou podkritičnost. V případě jakéhokoli ohrožení externí událostí by reaktor byl odstaven ručně.
- V případě vysoké teploty atmosféry by došlo k postupnému řízenému snižování výkonu bloku tak, aby byly dodrženy provozní hodnoty teplot zatížených zařízení (turbogenerátor, transformátory atd.).
- Při požadavku na funkci bezpečnostních systémů by teplota TVD byla zajišťována ventilátorovými chladicími věžemi v předepsaném intervalu. Případný potřebný výkon dieselgenerátoru (rozpad sítě a nezregulování na vlastní spotřebu) by byl dostatečný pro činnost bezpečnostních systémů i při nedodržení požadavku na teplotu TVD.
- Při požadavku na vyšší výkon záložního napájení by byly využity tzv. SBO dieselgenerátory, které nejsou chlazeny TVD a mají dostatečnou odolnost proti extrémní teplotě okolí.
- Funkce odvodu tepla je zajištěna provozními prostředky, případně bezpečnostními systémy. Tyto nebudou nijak zasaženy.

- Odvod zbytkového tepla z použitého jaderného paliva uloženého v bazénech skladování je závislý jednak na funkci zařízení umístěného v místnostech budovy reaktorů a jednak na funkci systému technické vody důležité (TVD) včetně ventilátorových chladících věží. Jsou dimenzovány tak, že v případě extrémních teplot nedojde k omezení vykonávání jejich bezpečnostní funkce.

Integrita kontejnmentu včetně vakuobarbotážního systému nemůže být ohrožena v důsledku extrémních okolních teplot.

Případy extrémních teplot nepatří do kategorie s okamžitým projevem extrémního počasí a tento jev lze předvídat. Výstrahu předem o možnosti výskytu extrémních teplot dostává směnový inženýr elektrárny od ČHMU e-mailem nebo telefonicky. Pro provádění preventivních činností z důvodu extrémně vysoké teploty je vytvořen vnitřní postup elektrárny.

19.2.1.6 Minimální teplota

Hodnocení se soustředilo na vyhodnocení odolnosti zařízení, jehož funkčnost je nutná k zajištění bezpečnostních funkcí, vůči minimálním projektovým i extrémním minimálním hodnotám teploty, na vyhodnocení dostatečnosti časové nezávislosti elektrárny na okolí pro případ, že by z důvodu teploty byla po určitou dobu omezena možnost použití vnějších zdrojů energie, vody či provádění havarijních zásahů z vnějšku. Vstupní sady naměřených dat pro extrémní zatížení účinky venkovních teplot byly vybrány z měření venkovních teplot vzduchu na okolních meteostanicích. Pro hodnocení byly uvažovány roční minima v jednotlivých kalendářních letech. Minimální 24 hodinový průměr byl pro JE Dukovany stanoven na hodnotu -37,3 °C s periodou 10 000 let.

Z výsledku hodnocení vyplynulo, že systémy vytápění a ochrany proti zamrznutí jsou dostatečně dimenzovány a provozně zajištěny, aby byly schopny pokrýt potřeby tepla za podmínek extrémního chladu. Byl rovněž analyzován vliv ledu ve vodohospodářských objektech elektrárny. Ve vodohospodářských objektech s volnou hladinou vody v areálu JE Dukovany nemůže vlivem extrémně nízkých teplot dojít ke vzniku takového množství ledu, které by ohrožovalo jejich provoz.

Pro extrémní nízké teploty, která přicházejí do úvahy v lokalitě Dukovany, není ohroženo plnění základních bezpečnostních funkcí. Sekvence události by byla následující:

- Řízení reaktivity aktivní zóny reaktoru a bazénu skladování použitého paliva je nezávislé na nízké okolní teplotě a zabezpečuje dostatečnou podkritičnost. V případě jakéhokoli ohrožení vnější událostí by reaktor byl odstaven ručně.
- V případě extrémních nízkých teplot je funkce odvodu tepla zajištěna provozními prostředky, případně bezpečnostními systémy. Tyto nebudou nijak zasaženy.
- Odvod zbytkového tepla z použitého jaderného paliva uloženého v bazénech skladování je závislý jednak na funkci zařízení umístěného v místnostech budovy reaktorů a jednak na funkci systému technické vody důležité (TVD) včetně ventilátorových chladících věží. V případě extrémních nízkých teplot tyto systémy nejsou postiženy.

Integrita kontejnmentu včetně vakuobarbotážního systému nemůže být ohrožena v důsledku extrémních okolních teplot.

Případy extrémních teplot nepatří do kategorie s okamžitým projevem extrémního počasí a tento jev lze předvídat. Výstrahu předem o možnosti výskytu extrémních teplot dostává směnový inženýr elektrárny od ČHMU e-mailem nebo telefonicky. Pro provádění preventivních činností z důvodu extrémně nízké teploty je vytvořen vnitřní postup elektrárny.

19.2.1.7 Úplná ztráta střídavého elektrického napájení

Hodnocení je zaměřeno na vyhodnocení možnosti zajištění základních bezpečnostních funkcí při selhání základních prostředků pro zajištění dodávky střídavého elektrického napájení (selhání všech zdrojů včetně nouzových pro spotřebiče II. kategorie zajištěného napájení). Zdrojem elektrického napájení zůstávají pouze akumulátorové baterie, respektive lokální UPS. Je uvažován vznik malé ztráty chladiva reaktoru, charakterizovaného jako malá

LOCA, a je důsledkem roztěsnění ucpávek hlavních cirkulačních čerpadel bez chlazení vloženým okruhem TF 10 (Pozn. k této události by nemělo dojít, ucpávky jsou projektovány na podmínky ztráty chlazení, ale jedná se o dodatečný konzervativní předpoklad). Jako jediný zdroj střídavého napájení se uvažuje pouze střídavé napájení vyrobené z akumulátorových baterií, tedy I. kategorie zajištěného napájení.

Při úplné ztrátě střídavého napájení dochází k zajištění podkritičnosti paliva v reaktoru automatickým odstavením reaktoru pádem HRK do aktivní zóny. Podkritičnost paliva umístěného v bazénu skladování použitého paliva je zajištěna geometrií mříží, absorbátory neutronů přítomnými v konstrukčních materiálech skladovacích mříží a navíc přítomností kyseliny borité v chladivu bazénu.

Nucený odvod tepla z aktivní zóny i spotřebičů systému TVD je přerušen (včetně systémů ventilace). Z tohoto důvodu dochází také k přerušení odvodu tepla z bazénu skladování použitého paliva. Odvod tepla z aktivní zóny pokračuje v režimu přirozené cirkulace automatickým odvodem páry přes přepouštěcí stanice do atmosféry, respektive pojistné ventily parogenerátorů. Zbytkové teplo použitého paliva v bazénu skladování způsobuje pozvolný nárůst jeho teploty.

Spotřebiče I. kategorie zajištěného napájení jsou napájeny z akumulátorů s výdrží minimálně 12 hodin pro jednu divizi, v případě střídavého provozu s postupným šetřením jednotlivých divizí lze dosáhnout času cca 30 hodin provozu. Spotřebiče II. kategorie zajištěného napájení jsou bez elektrického napájení.

Pro řešení stavu úplné ztráty střídavého napájení byla JE Dukovany vybavena dvojicí SBO dieselgenerátorů (viz kap. Error: Reference source not found), které umožňují napájení spotřebičů, důležitých pro vychlazení dvojbloku. Napájení je možné na úrovni rozvoden zajištěného napájení II. kategorie 6 kV. SBO dieselgenerátory jsou nezávislé na dodávce TVD a jsou vybaveny vlastním palivovým hospodářstvím.

Předpokládané sekvence se liší dle toho, zda výchozím stavem byl provoz s uzavřeným reaktorem nebo období výměny paliva, kdy je reaktor otevřen. Smyslem všech opatření je udržet plnění bezpečnostních funkcí na dostatečné úrovni po maximálně možnou dobu a tuto dobu využít k zajištění silového střídavého napájení důležitých spotřebičů. Teprve poté lze považovat stav bloku za stabilizovaný.

Předpokládané sekvence s uzavřeným reaktorem:

- Reaktor bude odstaven ochranou RTS automaticky od výpadků zařízení.
- Zbytkové teplo aktivní zóny je odváděno v režimu přirozené cirkulace přes parogenerátory a přepouštěcí stanice do atmosféry (případně pojistné ventily parogenerátorů).
- Řízeným způsobem jsou odtlakovány parogenerátory tak, aby se dal využít výškový rozdíl mezi napájecími nádržemi a parogenerátory a je zahájeno jejich doplňování samospádem. Pokračuje odvod tepla přes přepouštěcí stanice parogenerátorů.
- Pokud dojde k roztěsnění ucpávek HCČ a ztrátě primárního chladiva, je primární okruh řízeně odtlakován a doplňován činností postupného vylévání hydroakumulátorů.
- Předpokládá se připojení SBO dieselgenerátoru (nezávislého systému, odděleného od jednotlivých divizí bezpečnostních systémů) jako záložního prostředku pro napájení důležitých spotřebičů.
- Dobíjení akumulátorů je zajištěno buď z SBO dieselgenerátoru nebo z mobilních (alternativních) dieselgenerátorů.
- Po připojení SBO dieselgenerátoru je umožněno napájení superhavarijních napájecích čerpadel a doplňování vody do parogenerátorů.
- Alternativním způsobem napájení parogenerátorů je připojení mobilního benzínového čerpadla FOX pro čerpání vody z nádrží demivody 1000 m^3, případně hadicového vozu HZSp pro čerpání vody do parogenerátorů z bazénů pod chladicími věžemi nebo čiřicích tanků.

Předpokládané sekvence pro bazén skladu včetně možného otevřeného reaktoru:

- Podkritičnost jaderného paliva je zajištěna konfigurací distančních mříží paliva a koncentrací kyseliny borité v chladicím médiu.

- Zbytkové teplo z jaderného paliva způsobuje postupný nárůst teploty v bazénu, respektive i reaktoru. Vzhledem k tomu, že v tomto případě je hladina otevřená, dojde k nahřátí až na bod varu a zbytkové teplo je varem odváděno do prostoru reaktorového sálu.
- Doplňování odpařeného média je zajištěno gravitačně drenážními trasami barbotážních žlabů s dostatečnou zásobou roztoku kyseliny borité do bazénu.
- Pro doplňování média do reaktoru lze rovněž využít pomocných čerpadel systémů TB nebo TM z nádrží bezpečnostních systémů TH, kde je k dispozici další zásoba roztoku kyseliny borité. Napájení čerpadel by bylo zajištěno mobilním dieselgenerátorem.
- Po zprovoznění záložního SBO dieselgenerátoru a obnovení dodávky TVD je možno obnovit normální chladicí okruh přes výměníky bazénu skladu použitého paliva TG.
- Alternativním způsobem je rovněž zajištění doplňování reaktoru a bazénu skladu mobilním benzínovým požárním čerpadlem.

Pro zajištění pomocných funkcí při ztrátě střídavého napájení je EDU vybavena množstvím dalších alternativních prostředků:

- Mobilní dieselgenerátory pro lokální napájení potřebných spotřebičů (ventilace, čerpadla atd.)
- Osvětlovací balóny
- Alternativní komunikační prostředky s vlastním napájením
- Mobilní prostředky pro zajištění přepravy paliva pro dieselgenerátory

Pro zajištění dostatku dat při úplné ztrátě střídavého elektrického napájení je důležité zajištění stejnosměrného napájení systémů kontroly a řízení. To je poskytováno z akumulátorových baterií, případně lokálních UPS, které jsou při normálním stavu neustále dobíjeny. Při výpadku střídavého napájení by však o svůj zdroj dobíjení přišly a docházelo by k jejich postupného vybíjení v závislosti na spotřebě danou nutností napájet ty nejdůležitější monitorovací a řídicí systémy a komponenty. Záložním způsobem dobíjení jsou SBO dieselgenerátory. Rovněž mobilní dieselgenerátory lze připojit přímo na vybranou sekci zajištěného napájení I. kategorie a zajistit tak napájení vybraných měření či systémů SKŘ.

Alternativně lze měřicí řetězce důležitých technologických parametrů (tlaky, teploty atd.) napájet pomocnými přenosnými zdroji na místě připojovacích skříní, pro což je zpracován a ověřen zvláštní postup.

V konečném stavu je zajištěno plnění bezpečnostních funkcí následovně:

- Jaderné palivo je v podkritickém stavu, v případě reaktoru zasunutím HRK, v případě bazénu skladu konfigurací distanční mříže a roztokem kyseliny borité jako chladiva.
- Z reaktoru je zajištěn odvod tepla přes sekundární stranu parogenerátorů a přepouštěcí stanice do atmosféry, přičemž doplňování parogenerátorů lze provádět několika alternativními způsoby.
- Z bazénu skladu použitého paliva je zajištěn odvod tepla odparem, přičemž jeho doplňování je možné několika alternativními způsoby.
- Jaderné palivo zůstává nepoškozeno, jeho pokrytí (2. bariéra) tedy zajišťuje izolaci RA látek (štěpných produktů) od okolí. V důsledku varu chladiva v bazénu skladu dojde k zapáření reaktorového sálu, avšak bez významného zvýšení radiace.

V tomto stavu lze blok udržet po dlouhou dobu, výrazně převyšující požadovaných minimálních 72 hodin, a je tak dostatek času na další zásahy, vedoucí ke zprovoznění střídavého elektrického napájení.

19.2.1.8 Úplná ztráta koncového jímače tepla

Hodnocení je zaměřeno na vyhodnocení možnosti zajištění základních bezpečnostních funkcí při selhání základních prostředků pro odvod tepla do koncového jímače tepla (ventilátorových věží a systému technické vody důležité). Úplná ztráta koncového jímače tepla vyústí ke ztrátě chlazení spotřebičů systému TVD, jak provozních tak bezpečnostních. Dále uvažujeme i nedostupnost cirkulační chladicí vody a chladicích věží, neboť tento systém by mohl být v omezené míře použit jako diverzní nezávislý prostředek. Při hodnocení události se ztrátou koncového jímače tepla vycházíme z toho, že došlo k poškození strojní nebo stavební

části systému, přičemž elektrické napájení nebylo zasaženo (jsou tedy k dispozici pracovní přívody střídavého napájení). Kombinace ztráty koncového jímače tepla a současné ztráty střídavého elektrického napájení je hodnocena v následující kapitole 19.2.1.9.

Při úplné ztrátě koncového jímače tepla dochází k zajištění podkritičnosti paliva v reaktoru automatickým nebo ručním odstavením reaktoru pádem HRK do aktivní zóny. Podkritičnost paliva, umístěného v bazénu skladování použitého paliva, je zajištěna geometrií mříží, absorbátory neutronů přítomnými v konstrukčních materiálech skladovacích mříží a navíc přítomností kyseliny borité v chladivu bazénu.

Nucený odvod tepla z aktivní zóny i spotřebičů systému TVD je přerušen (včetně systémů ventilace). Z tohoto důvodu dochází také k přerušení odvodu tepla z bazénu skladování použitého paliva. Odvod tepla z aktivní zóny pokračuje v režimu přirozené cirkulace automatickým odvodem páry přes přepouštěcí stanice do atmosféry, respektive pojistné ventily parogenerátorů. Zbytkové teplo použitého paliva v bazénu skladování způsobuje pozvolný nárůst jeho teploty. Spotřebiče jsou elektricky napájeny z vnější sítě buď pracovními, nebo záložními přívody.

Předpokládaná sekvence událostí by byla následující:

- Reaktor bude odstaven ochranou RTS automaticky od výpadků zařízení nebo ručně.
- Zbytkové teplo aktivní zóny je odváděno v režimu přirozené cirkulace přes parogenerátory a přepouštěcí stanice do atmosféry (případně pojistné ventily parogenerátorů).
- Parogenerátory jsou napájeny systémem pomocného nebo nouzového napájení. Diverzní záložní možností je úplné odtlakování parogenerátorů a doplňování napájecí vody samospádem z napájecích nádrží.
- Diverzním záložním způsobem je rovněž připojení mobilních čerpadel k napájecím trasám systému nouzového doplňování parogenerátorů a zajištění doplňování parogenerátorů tímto způsobem.
- V bazénu skladování použitého paliva dochází po výpadku chlazení k pozvolnému nárůstu teploty až k bodu varu. Odvod tepla je zajištěn odparem z hladiny.
- Doplňování bazénu skladování probíhá standardním způsobem z nádrží bezpečnostních systémů TH, případně dalšími provozními způsoby.
- Diverzními způsoby doplňování bazénu skladování zůstávají drenážní trasy barbotážních žlabů, doplňování pomocí mobilních čerpadel atd. (viz předchozí kapitola 19.2.1.7).

V konečném stavu je zajištěno plnění bezpečnostních funkcí následovně:

- Jaderné palivo je v podkritickém stavu, v případě reaktoru zasunutím HRK, v případě bazénu skladu konfigurací distanční mříže a roztokem kyseliny borité jako chladiva.
- Z reaktoru je zajištěn odvod tepla přes sekundární stranu parogenerátorů a přepouštěcí stanice do atmosféry, přičemž doplňování parogenerátorů lze provádět několika alternativními způsoby.
- Z bazénu skladu je zajištěn odvod tepla odparem, přičemž jeho doplňování je možné několika alternativními způsoby.
- Jaderné palivo zůstává nepoškozeno, jeho pokrytí (jako samostatná bariéra) tedy zajišťuje izolaci RA látek (štěpných produktů) od okolí. V důsledku varu chladiva v bazénu skladu dojde k zapáření reaktorového sálu, avšak bez významného zvýšení radiace.

V tomto stavu lze blok udržet po dlouhou dobu, výrazně převyšující požadovaných minimálních 72 hodin, a je tak dostatek času na další zásahy, vedoucí ke zprovoznění koncového jímače tepla.

19.2.1.9 Kombinace úplné ztráty střídavého elektrického napájení a koncového jímače tepla

Hodnocení bylo zaměřeno na vyhodnocení možnosti zajištění základních bezpečnostních funkcí při selhání základních prostředků pro zajištění dodávky střídavého elektrického napájení (selhání nouzových zdrojů pro spotřebiče II. kategorie zajištěného napájení) v kombinaci se selháním základních prostředků pro odvod tepla do koncového jímače tepla

(ventilátorových chladicích věží systému technické vody důležité, cirkulační chladicí vody a chladicích věží).

Jedná se tak o kombinaci sekvencí z předchozích dvou kapitol, přičemž důsledkem společného selhání systémů je omezení alternativních možností pro provedení zmírňujících zásahů. Při kombinaci úplné ztráty střídavého napájení a úplné ztráty koncového jímače tepla dochází k zajištění podkritičnosti paliva v reaktoru automatickým odstavením reaktoru pádem HRK do aktivní zóny. Podkritičnost paliva, umístěného v bazénu skladování použitého paliva, je zajištěna přítomností kyseliny borité v chladivu bazénu a absorbátory neutronů přítomnými v konstrukčních materiálech skladovacích mříží.

Předpokládaná sekvence událostí by byla následující:

- Reaktor bude odstaven ochranou RTS automaticky od výpadků zařízení.
- Zbytkové teplo aktivní zóny je odváděno v režimu přirozené cirkulace přes parogenerátory a přepouštěcí stanice do atmosféry (případně pojistné ventily parogenerátorů).
- Řízeným způsobem jsou odtlakovány parogenerátory tak, aby se dal využít výškový rozdíl mezi napájecími nádržemi a parogenerátory a je zahájeno jejich doplňování samospádem. Odvod tepla je tak dál zajištěn přes přepouštěcí stanice do atmosféry.
- Diverzním záložním způsobem doplňování parogenerátorů je rovněž připojení mobilních čerpadel k napájecím trasám systému nouzového doplňování parogenerátorů.
- Pokud bude možné připojení SBO dieselgenerátoru jako záložního prostředku pro napájení důležitých spotřebičů, nepředpokládá se zprovoznění TVD. Bylo by však možno začít napájet parogenerátory buď pomocným, nebo nouzovým systémem napájení parogenerátorů.
- Dobíjení akumulátorů I. kategorie zajištěného napájení je zajištěno buď z SBO dieselgenerátoru nebo z mobilních (alternativních) dieselgenerátorů.
- Alternativním způsobem napájení parogenerátorů je připojení mobilního benzínového čerpadla FOX pro čerpání vody z nádrží demivody 1000 m^3, případně hadicového vozu HZSp pro čerpání vody do parogenerátorů z bazénů pod chladicími věžemi nebo čiřicích tanků.
- V bazénu skladování použitého paliva dochází po výpadku chlazení k pozvolnému nárůstu teploty až k bodu varu. Odvod tepla je zajištěn odparem z hladiny.
- Doplňování odpařeného média je zajištěno gravitačně drenážními trasami barbotážních žlabů s dostatečnou zásobou roztoku kyseliny borité do bazénu.
- Pro doplňování média do reaktoru lze rovněž využít pomocných čerpadel systémů TB nebo TM z nádrží bezpečnostních systémů TH, kde je k dispozici další zásoba roztoku kyseliny borité. Napájení čerpadel by bylo zajištěno mobilním dieselgenerátorem.
- Alternativním způsobem je rovněž zajištění doplňování reaktoru a bazénu skladu mobilním benzínovým požárním čerpadlem.

V konečném stavu je zajištěno plnění bezpečnostních funkcí následovně:

- Jaderné palivo je v podkritickém stavu, v případě reaktoru zasunutím HRK, v případě bazénu skladu konfigurací distanční mříže a roztokem kyseliny borité jako chladiva.
- Z reaktoru je zajištěn odvod tepla přes sekundární stranu parogenerátorů a přepouštěcí stanice do atmosféry, přičemž doplňování parogenerátorů lze provádět několika alternativními způsoby.
- Z bazénu skladu je zajištěn odvod tepla odparem, přičemž jeho doplňování je možné několika alternativními způsoby.
- Jaderné palivo zůstává nepoškozeno, jeho pokrytí (samostatná bariéra) tedy zajišťuje izolaci RA látek (štěpných produktů) od okolí. V důsledku varu chladiva v bazénu skladu dojde k zapáření reaktorového sálu, avšak bez významného zvýšení radiace.

V tomto stavu lze blok udržet po dlouhou dobu, výrazně převyšující požadovaných minimálních 72 hodin, a je tak dostatek času na další zásahy, vedoucí ke zprovoznění střídavého elektrického napájení a koncového jímače tepla.

19.2.2 Koncepce zvládání těžkých havárií

V koncepci zvládání těžké havárie se zabýváme zmírňujícími postupy pro již nastalou událost. Vychází se z následujících základních předpokladů:

- Prioritním cílem je zabránění úniku RA látek do okolí, tedy ochrana kontejnmentu, přičemž je porušena druhá (a pravděpodobně i třetí) bariéra.
- Došlo k selhání bezpečnostních systémů a bez dalších zásahů není možno zajistit plnění základních bezpečnostních funkcí.
- Pro zmírnění situace se použijí se všechny dostupné prostředky, nezávisle na původním projektovém určení.
- Zásahy personálu jsou prováděny s ohledem na radiační riziko s použitím příslušných ochranných prostředků.
- Řízení situace přechází ze standardní organizace (směnový personál) na technické podpůrné středisko a havarijní štáb.

Koncepce zvládání těžkých havárií vychází z principu ochrany do hloubky (kap. 1.2.2.2). Předpokládá se postupný rozvoj havárie přes jednotlivé stupně DiD 1 – 3, přičemž k rozvoji situace až do podmínek těžké havárie úrovně DiD 4 předpokládá selhání předchozích stupňů DiD. V této úrovni došlo k narušení plnění bezpečnostních funkcí (kap. 1.2.3) a pro zajištění bezpečnostních cílů je třeba obnovit jejich plnění v maximální možné míře.

Pro zajištění odpovídající ochrany do hloubky ve všech oblastech zvládání havárií byly vypracovány tzv. plány lokality. Tyto plány popisují činnosti, které by byly prováděny při vzniku havarijních podmínek nebo izolace lokality z důvodu vnějších vlivů. Plány jsou vypracovány pro celou lokalitu a uvažují tedy i ohrožení více bloků současně. Zároveň nejsou plány specifické pro jednotlivý havarijní scénář či vnější vliv, ale jsou orientovány symptomaticky. Jedná se tedy o rozšířené projektové podmínky **nad rámec** postulovaných iniciačních událostí (DEC A, DEC B), kdy nehledáme způsob (scénář), jak se do havarijních podmínek elektrárna dostala, ale řešíme stav, který skutečně nastal.

Plány lokality jsou komplexní a zahrnují všechny stupně ochrany do hloubky, kdy je plnění bezpečnostních funkcí zajištěno následně:

- Pomocí standardních projektových prostředků (bezpečnostní systémy)
- Při jejich selhání pomocí diverzních stabilních prostředků (záložní zařízení)
- V krajním případě pomocí alternativních prostředků (mobilní zařízení)

Mezi jednotlivými plány lze v případě potřeby plynule přecházet tak, že pokud situace vyžaduje obnovení plnění některé bezpečnostní funkce a standardní projektové prostředky pro zajištění nejsou k dispozici, použijí se další (diverzní nebo alternativní) prostředky pro obnovení ohrožené bezpečnostní funkce, i když celkovou situaci jako těžkou havárii zatím nelze hodnotit. Příkladem může být doplňování vody do parogenerátorů mobilními prostředky (hasičská cisterna) při nemožnosti jejího doplnění standardními systémy doplňování v situaci, kdy k rozvoji těžké havárie zatím nedošlo a použití alternativního prostředku pak má preventivní, nikoli zmírňující účinek.

V průběhu řešení těžké havárie je rovněž kladen důraz na obnovení činnosti standardních prostředků. Jelikož předpokladem vzniku vážné situace je selhání prostředků úrovně DiD 3 (pokud se tak nestane, je plnění BF zajištěno a k přechodu do úrovně DiD 4 nedojde), po dobu řešení situace musí být vyvíjeno trvalé úsilí o obnovení jejich funkce a přechod řešení zpět do úrovně DiD 3.

Nezbytnou součástí plánů je identifikace a zajištění (a ochrana) podmínek pro řízení činností, tedy nezbytných technických prostředků, dokumentace a lidských zdrojů pro úspěšné zvládání havarijních stavů a řízení havarijní odezvy. Plány jsou orientovány na dva základní cíle:

- Zajištění bezpečného stavu jaderné elektrárny
- Ochrana obyvatelstva, personálu a životního prostředí

19.2.2.1 Technické prostředky[76]

Projekt JE Dukovany obsahuje dostatečné prostředky pro zvládání všech projektových událostí. Požadavek na schopnost zvládat i všechny události zařazené do kategorie rozšířených projektových podmínek (DEC) je základem pro zlepšení úrovně jaderné bezpečnosti a zvýšení robustnosti některých úrovní ochrany do hloubky. Proto byla vytvořena tříúrovňová struktura prostředků a opatření pro plnění požadovaných cílů. Tyto tři úrovně opatření je nutné chápat jako preventivní (z pohledu koncepce řízení havárií jsou to preventivní opatření pro zabránění rozvoje události do těžké havárie). Pokud by došlo k selhání všech tří úrovní, potom dojde k rozvoji události do těžké havárie a nastupuje poslední úroveň, kterou je omezení jejích následků. V této úrovni se kromě aktuálně dostupných prostředků všech tří předchozích úrovní použijí i prostředky určené výhradně pro zvládání těžkých havárií (např. systém likvidace vodíku pro těžké havárie, systém chlazení a udržení taveniny aktivní zóny v reaktoru).

Při návrhu opatření pro plnění požadovaných cílů je použit odstupňovaný přístup, tj. pro každou úroveň prostředků jsou stanoveny odlišné funkční požadavky odpovídající míře ohrožení plnění požadovaného cíle, pro kterou jsou dané prostředky navrženy. Funkční požadavky pro základní prostředky (stávající projektové systémy) jsou dány projektem JE (kap. Error: Reference source not found). Jedná se o nejpřísnější požadavky, které vycházejí z legislativních požadavků a standardů (např. odolnost proti jednoduché poruše, kvalifikace na extrémní podmínky prostředí apod.). Pro záložní a alternativní prostředky jsou funkční požadavky méně přísné (např. záložní prostředky nemusí splňovat předpoklad odolnosti proti jednoduché poruše, u alternativních mobilních prostředků není potřeba prokazovat kvalifikaci na funkčnost v LOCA, resp. HELB prostředí, apod.), musí však být odolné vůči podmínkám, při kterých budou nasazeny.

Pro úspěšné používání strategií zvládání těžkých havárií je třeba rovněž dostatečná instrumentace pro měření základních parametrů aktivní zóny a kontejnmentu. Tato instrumentace musí být funkceschopná při podmínkách těžké havárie a musí být schopna měřit parametry, které pro normální provoz bloků nejsou třeba. Tato instrumentace je součástí systému PAMS (Post Accident Monitoring System), který je klasifikován jako bezpečnostní systém, i když zajišťuje pouze informaci o stavu základních parametrů JE.

19.2.2.2 Organizační prostředky

Řízení stavu elektrárny v podmínkách těžké havárie je organizačně zajištěno jednak pomocí standardní (provozní) směny, jednak aktivací organizace havarijní odezvy (OHO). V rámci strategie řízení těžkých havárií (AM – Accident Management) je definován okamžik iniciace těžké havárie a navazujícího přechodu na jinou organizační strukturu řízení. Jako součást OHO je aktivována expertní skupina (TPS – technické podpůrné středisko), která po zahájení činnosti přebírá řízení stavu elektrárny od operativního personálu standardní směny. Operativní personál však zůstává přítomen a provádí potřebné zásahy v technologii dle pokynů, případně dle vlastních postupů v příslušných havarijních postupech. Z důvodu zajištění komunikace mezi obsluhou, zásahovými skupinami, TPS a havarijním štábem elektrárny jsou k dispozici zajištěné komunikační linky.

Vzhledem k tomu, že důsledkem iniciační události (a předpokladem pro vstup do příslušného plánu) je rozsáhlé poškození technických prostředků a omezení kapacit personálu, je základní podmínkou úspěšné implementace příslušného plánu zformování a správné fungování zásahových skupin, jejichž hlavním cílem je identifikovat rozsah poškození a obnovit funkceschopnost prostředků pro plnění požadovaných funkcí alespoň v minimálně nutném rozsahu. Formují se čtyři typy zásahových skupin: provozní skupina (provozní personál), technická skupina (kvalifikovaný personál HZSp pro obsluhu těžké techniky a alternativních mobilních prostředků), záchranná skupina (vyškolený personál pro vyhledávání a záchranu osob) a požární skupina (HZSp).

Manipulace a zásahy v technologii se normálně provádí z blokové nebo nouzové dozorny. Tyto jsou obyvatelné v rámci všech projektových nehod (DiD 3). V pozdní fázi těžké havárie se

[76] Podrobnější popis technických prostředků, používaných při řešení těžkých havárií, je uveden v kap. 19.2.4

již obyvatelnost dozoren nevyžaduje, neboť v pozdějších fázích těžké havárie se již nepředpokládají manipulace nebo jen v omezené míře. V pozdní fázi těžké havárie se předpokládají případné manipulace pouze na místě s použitím ochranných prostředků zasahujících osob. V případě vyhlášení evakuace jsou pracovníci směny shromážděni v krytu a jsou i nadále součástí zásahové skupiny. Řízení strategie řešení těžké havárie probíhá z TPS, které je rovněž umístěno v krytu. V případě neobyvatelnosti krytu se uvažuje o použití záložního pracoviště mimo areál elektrárny.

19.2.2.3 Dokumentace

Dokumentace pro řízení těžkých havárií má část, zabývající se řízením vlastní technologie, a je určena jednak pro operativní řídicí personál (v počáteční fázi zjištění těžké havárie a iniciace rychlých opatření), jednak pro TPS. Pro tyto účely se používají symptomatické postupy SAMG (Severe Accident Management Guidelines), které jsou orientovány na zajištění kritických bezpečnostních funkcí. Kritické bezpečnostní funkce vycházejí z generických BF dle kap. 1.2.3 a jsou jejich rozpracováním dle konkrétního technického řešení reaktorových bloků.

Další částí dokumentace jsou zásahové postupy různých typů, které se zabývají celkovým řízením situace na elektrárně (tedy péčí o personál, zajištění zásahových prostředků a jejich řízení, evakuace, vyrozumění okolí atd.) s výjimkou řízení technologie. Tato část dokumentace je určena pro havarijní štáb elektrárny.

19.2.3 Základní strategie zvládání těžkých havárií

Pokud dojde k nepříznivému rozvoji události až do těžké havárie, je tato událost řešena s pomocí návodů na zvládání těžkých havárií SAMG. V okamžiku identifikace těžké havárie je třeba zaměřit pozornost personálu prioritně na **ochranu hermetického prostoru** jako poslední bariéry a minimalizovat úniky štěpných produktů do životního prostředí.

Těžká havárie je definována překročením teploty pokrytí paliva 1200°C, kdy se rozvíjí reakce vodní páry se zirkoniovým pokrytím palivového proutku. Vzhledem k nemožnosti přímého měření tohoto parametru byla stanovena teplota na výstupu z aktivní zóny 550°C jako iniciace vstupu do návodů SAMG a přechod do režimu řízení těžké havárie. V případě, že je reaktor otevřený, je demontovaný horní blok s víkem reaktoru a není proto k dispozici měření teploty na výstupu z AZ. V tomto případě se jako vstup do návodů SAMG bere hodnota dávkového příkonu na reaktorovém sále.

Pro události vedoucí k těžké havárii v bazénu skladování použitého paliva BS je jako vstupní parametr brána hladina chladiva 10,82 m při uložení použitého paliva pouze v jedné (kompaktní) mříži nebo 14,56 m při uložení paliva v obou mřížích (kompaktní a rezervní).

V iniciační fázi postupů (počátek těžké havárie) je tedy palivo v aktivní zóně částečně nebo úplně odhaleno, což indikuje právě teplota na výstupu. Rozvojem havarijní události do podmínek těžké havárie tedy rozumíme rozvoj exotermní reakce páry se zirkoniovým pokrytím paliva s následným růstem teploty vysoko přes hodnotu 1200°C za dalšího vývoje vodíku, prudkého nárůstu úniku uvolněných radioaktivním látek z poškozených palivových proutků a počátku tavení paliva.

19.2.3.1 Obecné strategie zvládání těžkých havárií

Všechny primární strategie zvládání těžkých havárií jsou určeny k obnovení a udržení tří generických bezpečnostních funkcí (podkritičnost, odvod tepla, omezení úniku RA látek do okolí). Zaměřují se tedy na obdobné postupy, které slouží k řešení událostí v úrovni DiD 3 a zajistí podkritičnost jaderného paliva, odvod zbytkového tepla a integritu kontejnmentu. Smyslem těchto strategií je nepříznivý rozvoj stavu, vedoucí k těžkému poškození aktivní zóny (tavení), co nejdříve zvrátit a plnění bezpečnostních funkcí obnovit. Součástí strategií je i snaha o maximální prodloužení času, než k poškození aktivní zóny dojde. To má dva pozitivní důsledky, jednak s prodlužujícím se časem od odstavení reaktoru klesá zbytkový výkon aktivní zóny a tedy i množství médií, potřebných k odvodu tepla, jednak se tím umožní provedení zásahů do technologie (opravy, instalace alternativních prostředků atd.).

Používané strategie jsou doloženy pokročilými výpočty a analýzami, které umožnují predikovat úspěšnost navržených postupů a jsou stále rozvíjeny a zpřesňovány dle nejnovějších poznatků vědy a výzkumu, především v oblasti fenomenologie těžkých havárií.

19.2.3.2 Zabránění protavení coria při vysokém tlaku v primárním okruhu

Zásadní strategií pro zmírnění následků těžké havárie je zabránit protavení tlakové nádoby reaktoru při vysokém tlaku v primárním okruhu. Snížení tlaku před potenciálním protavením má několik pozitivních důsledků:

- Sníží se přídavné namáhání kovu tlakové nádoby reaktoru, který je v dané chvíli namáhán vysokou teplotou, a zlepší se tak předpoklad pro úspěch tzv. strategie In-Vessel Retention - IVR (zachování její celistvosti TNR- viz dále).
- Zabrání se vysokotlakému vypuzení taveniny neboli coria při případném selhání tlakové nádoby reaktoru, které by mělo za následek rychlého pokrytí velké plochy stavebních konstrukcí coriem a rychlé uvolnění tepelné energie do atmosféry kontejnmentu. Tím by došlo k rychlému nárůstu tlaku v kontejnmentu.
- Snížení namáhání teplosměnných trubek parogenerátoru a ochránění čtvrté bariéry proti úniku RA látek do okolí.
- Umožnění dodávky chladicí vody do poškozené aktivní zóny pomocí nízkotlakých čerpadel.

Pro odtlakování primárního okruhu lze použít standardní projektové prostředky (odlehčovací a pojistné ventily kompenzátoru objem), případně další alternativní prostředky.

19.2.3.3 Zabránění protavení taveniny přes kontejnment

Zabránění protavení taveniny aktivní zóny z tlakové nádoby reaktoru a její rozlití v prostoru šachty reaktoru je klíčovou strategií pro udržení integrity kontejnmentu EDU. V případě vylití taveniny na betonovou konstrukci dna šachty reaktoru dojde k jejímu poškození vysokou teplotou, přičemž tavenina by v interakci s betonem způsobila řadu chemických reakcí s vývinem dodatečného vodíku a dalších plynů a zhoršila by tak dále nepříznivý vývoj těžké havárie. K protavení taveniny paliva (coria) skrz ochrannou obálku by obecně došlo ve dvou fázích:

- Protavení coria přes stěnu tlakové nádoby reaktoru a následným vylitím na podlahu šachty.
- Protavení vylitého coria přes stavební část ochranné obálky do geologického prostředí.

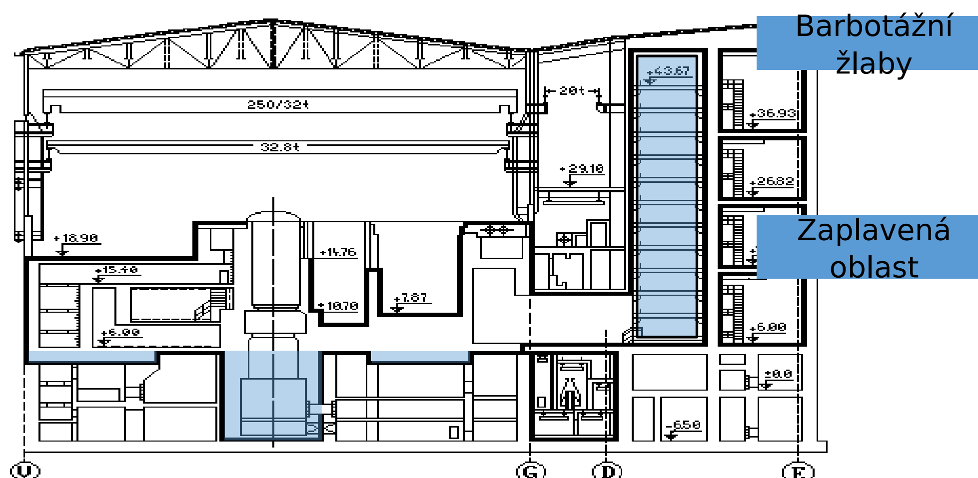
K zabránění protavení coria ochrannou obálkou je strategie EDU založena primárně na zabránění první fáze, tedy udržení integrity tlakové nádoby reaktoru s taveninou na jejím dně. Jedná se o ověřenou strategii, která byla realizovaná i na jiných stejných nebo obdobných typech elektráren a je uplatněna i v projektech nových jaderných bloků. Strategie je založená na chlazení tlakové nádoby reaktoru zvenku jejím zaplavením a na odvodu tepla z roztaveného paliva přes zaplavenou stěnu reaktoru a dno nádoby reaktoru a odvodu tohoto tepla ve formě páry do hermetického prostoru.

Když není možné odvádět teplo z aktivní zóny prostřednictvím sekundárního okruhu, je nutné dodávat chladivo přímo do primárního okruhu a aktivní zóny reaktoru. K úspěšné aplikaci této strategie je třeba odtlakovat primární okruh pod závěrný tlak čerpadel, které zaplavení aktivní zóny zajistí. Odvod tepla je po zaplavení aktivní zóny zajištěn varem a odvodem vznikající páry. Čím dříve a ve větším množství se dostane chladivo do aktivní zóny, tím je větší šance na zabránění poškození paliva a jeho následného tavení.

Při nedostatku chladiva v AZ dojde k obnažení palivových kazet, k reakci zirkoniového pokrytí paliva s přehřátou vodní parou za vývinu velkého množství vodíku a další teplené energie (exotermní reakce) a následnému uvolňování štěpných produktů z porušeného paliva. Přehřáté palivo začne ztrácet geometrii a začne stékat, relokovat do nižších částí reaktoru spolu se zbytky roztaveného pokrytí a vnitroreaktorových částí. Protože v reaktorové nádobě již není přítomna voda, zastaví se produkce vodíku. Trosky spolu s taveninou se shromáždí na dně reaktorové nádoby v pravděpodobné konfiguraci tak, že ve spodní části je roztavené

palivo se zbytky pokrytí a roztavených vnitroreaktorových částí. Pro odvod tepla z roztaveného paliva lze v této situaci použít metodu IVR (In-Vessel Retention).

Metoda IVR spočívá ve vnějším zaplavení tlakové nádoby reaktoru, přičemž teplo je odváděno vedením přes stěny nádoby do okolní vody a odtud jako pára do boxu parogenerátorů. Pro úspěšnou aplikaci této strategie je vytvořeno několik technických opatření, které vnější zaplavení umožňují. JE Dukovany je vybavena systémem gravitačního přepouštění chladiva z podlahy boxu parogenerátorů do prostoru šachty reaktoru. Chladivo, které se na podlaze boxu shromáždilo buď v průběhu činnosti sprchového systému, činnosti barbotážních žlabů nebo bylo cíleně z barbotážních žlabů na podlahu vylito (zásahem operátora) po otevření přepouštěcích otvorů gravitačně přetéká do šachty.



Obr. 147. Výškové znázornění gravitačního zaplavení prostoru boxu parogenerátorů a šachty reaktoru

Jakmile hladina chladiva v místnosti šachty reaktoru dosáhne úrovně spodní části tepelného stínění tlakové nádoby reaktoru, dojde při dalším zvyšování hladiny v místnosti ke zvedání plováků a k samovolnému automatickému odklopení pákového mechanismu v důsledku vztlakové síly zvyšující se hladiny a uvolnění víka ve dně tepelného stínění. Tím je umožněno přímé zaplavování vnější strany tlakové nádoby reaktoru chladivem. Aby došlo k zaplavení nádoby zejména v oblasti horní části aktivní zóny, musely být v boxu na obou liniích vzduchotechniky TL11 vytvořeny bezpečnostní potrubní sifony, které brání úniku chladiva ze zaplavované šachty reaktoru do místností ventilace. Chladivo ve styku z horkou reaktorovou nádobou se začne odpařovat, vznikající pára uniká okolo reaktorové nádoby ve štěrbině mezi tlakovou nádobou a tepelným stíněním. Pára uniká tímto kanálem a v místě oporných struktur tlakové nádoby a mezi bloky spodní biologické ochrany aktivní zóny a dostává se do volného prostoru mezi tělesem tlakové nádoby reaktoru a tepelnou izolací nátrubků. Ve volném prostoru boxu parogenerátorů pak pára kondenzuje a stéká zpět na podlahu. Odpařené chladivo z místnosti šachty reaktoru je samovolně doplňováno gravitačním nátokem z boxu. Tento systém umožňuje pasivní cirkulaci chladiva a zabezpečuje dlouhodobě odvod tepla z roztavené aktivní zóny reaktoru.

Řešení těžké havárie v případě otevřeného reaktoru je založeno na obdobném principu. Nouzové doplňování reaktoru je snazší, protože není nutno odtlakovávat primární okruh a navíc je možno ihned přistoupit ke gravitačnímu zaplavování aktivní zóny z horních pater barbotážní věže, případně i z barbotážní věže sousedního bloku. Dodávat chladivo do otevřeného reaktoru lze také rovnou z reaktorového sálu, podobně jako při nouzovém chlazení bazénu skladu použitého paliva. Nouzové chlazení tlakové nádoby reaktoru pomocí metody IVR by bylo stejné.

Technické řešení prostředků pro externí zaplavení tlakové nádoby reaktoru je uvedeno v kap. 19.2.4.6.

19.2.3.4 Zabránění výbuchu vodíku

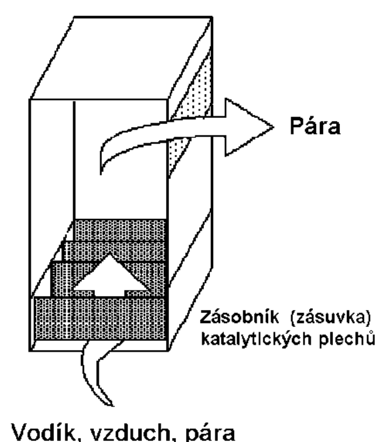
Zabránění výbuchu vodíku je klíčovou strategií pro zachování funkčnosti kontejnmentu. V případě hoření vodíku je rychlost rázové vlny přibližně 1000x menší než v případě jeho výbuchu a spálení vodíku řízeným způsobem tak zabrání rázové vlně, která by mohla způsobit závažné poškození hermetické obálky.

Při odhalování aktivní zóny se bude palivo nahřívat zbytkovým teplem a zirkoniové pokrytí paliva bude oxidovat přítomnou vodní parou. Jedním z produktů oxidace pokrytí je vodík, který se buď hromadí v neporušeném primárním okruhu, nebo přímo uniká netěsnostmi (LOCA) nebo otevřenými trasami (odlehčovací nebo pojistné ventily kompenzátoru objemu) do boxu.

Pokračující odhalování palivových článků nejprve podporuje reakcí zirkonia s vodní párou tvorbu velkého množství vodíku, další odhalování aktivní zóny ve fázi vyvařování způsobuje, že některé faktory začínají omezovat, případně zastavují produkci vodíku. Tyto faktory můžeme rozčlenit do dvou kategorií: snižování množství páry a snižování množství (dostupnosti) dosud nezreagovaného zirkoniového pokrytí. Časem bude aktivní zóna úplně odhalená a produkce vodíku se zdánlivě zastaví, hlavně z důvodu nedostupnosti páry pro udržení reakce[77].

Následná obnova průtoku chladiva do primárního okruhu (jako součást strategie obnovení chlazení aktivní zóny) během fáze ochlazení a znovu zaplnění, bude zaplavovat nejprve dno AZ, kde se chladivo bude ihned měnit na páru. Produkce velkého množství páry ve spodní části AZ, kde je množství nezreagovaného zirkonia, vede k obnově zirkoniově-parní reakce a k další produkci velkého množství vodíku. S tímto jevem je třeba při aplikaci strategie obnovení chlazení aktivní zóny počítat.

Uvolněný vodík se shromažďuje v hermetické zóně a spolu s kyslíkem (z původní atmosféry) může tvořit výbušnou směs. Podle vzájemné koncentrace vodíku a kyslíku dochází buď k jeho hoření, nebo k výbuchu. Cílem strategie je využít jev hoření a zabránit výbuchu vodíku. Jelikož k výbuchu vodíku dochází až při jeho koncentraci větší než 19% v suché atmosféře, je strategie založena na jeho cíleném spálení při koncentraci nižší. Spodní mez koncentrace hořlavosti vodíku je v závislosti na způsobu šíření (a tedy konfiguraci konkrétního místa hoření) mezi 4 – 8%. Obecně lze říci, že turbulence snižují mez koncentrace hořlavosti vodíku.



Obr. 148. Principiální schéma katalytického rekombinátoru vodíku

Spalování vodíku probíhá na instalovaných katalytických rekombinátorech, rozmístěných v prostorách celé hermetické zóny. Fyzikálním principem je katalytická oxidace vodíku, přičemž dochází ke značnému vývinu tepla a v případě kontaktu atmosféry s dostatečnou koncentrací vodíku tak může dojít i k zapálení a lokálnímu hoření. Tento jev je žádoucí a urychluje snižování koncentrace vodíku v kontejnmentu, avšak bylo třeba jej brát v potaz při projektovém řešení umístění rekombinátorů a tyto neinstalovat do blízkosti zařízení, citlivých

[77] Ani po úplném odhalení aktivní zóny nedojde u VVER-440 k úplnému zastavení zirkoniové reakce, protože palivové části 37 HRK jsou vysunuty pod aktivní zónu, kde mohou zůstat zbytky vody.

na zášleh plamene (např. kabeláž, instrumentace). Všechny rekombinátory vodíku v EDU jsou pasivní tedy působí samovolně pří zvýšení koncentrace vodíku a jejich činnost v průběhu havárie nelze nijak ovlivnit. Systém je dimenzován tak, aby byl schopen zajistit likvidaci vodíku při nejhorším možném scénáři těžké havárie (z hlediska vzniku vodíku).

Technické řešení systému katalytických rekombinátorů je uvedeno v kap. 19.2.4.5.

19.2.4 Technické prostředky pro zvládání těžkých havárií JE Dukovany

Pro řešení nadprojektových událostí a těžkých havárií se předpokládá využití projektových prostředků, které nebyly ovlivněny iniciační událostí. Dále jsou nově implementovány tzv. **DAM prostředky**, které slouží pro zvládání vícenásobných postulovaných poruchových událostí (úroveň DiD 3b) a těžkých havárií (úroveň DiD 4). Slouží k podstatnému posílení úrovní ochrany do hloubky a rozšiřují množinu scénářů, které jsou zvládány bez poškození paliva. Iniciace jejich implementace je součástí dlouhodobé strategie elektrárny, při které jsou využívány nové poznatky z jaderného průmyslu.

Významným zdrojem informací, na základě kterých byly některé prostředky doplněny, byla havárie v jaderné elektrárně Fukushima Dai-chi ze dne 11. 3. 2011. Tato havárie byla vyvolána silným zemětřesením o magnitudě 9 a především následnou vlnou tsunami. Elektrárna sestávala z celkem 6 bloků typu BWR, z nichž 3 byly v dané době ve výkonovém provozu a tři byly v odstaveném stavu bez paliva v reaktorech. Zaplavení lokality vlnou tsunami způsobilo ztrátu elektrického napájení chladicích systémů čtyř ze šesti bloků, což vyústilo v těžké poškození aktivních zón tří bloků a ve velký únik radioaktivních látek do životního prostředí. Událost byla klasifikována stupněm 7 na mezinárodní stupnici jaderných a radiologických událostí (INES).

19.2.4.1 Projektové předpoklady pro prostředky DAM

Oproti standardním hodnotám maximálních výpočtových hodnot extrémů použitých pro projektové prostředky (bezpečnostní systémy) byly požadavky na prostředky DAM modifikovány. Maximální výpočtové hodnoty vybraných extrémů, použité pro projektové prostředky, byly pro prostředky DAM zvýšeny o dodatečnou rezervu pro zvládání extrémních událostí vyplývajících z rozšíření základních požadavků. Tato rezerva je v případě zemětřesení víc než 50% (z projektových 0,1 g jsou tedy prostředky DAM projektovány na 0,15 g), v případě extrémního větru 20 % (tedy na 81,6 m/s). Dále byly stanoveny parametry letících předmětů, generovaných působením extrémního větru nebo tornáda.

Pro projektování prostředků DAM byly stanoveny následující zásady, které zohledňují možné souběhy působení více vlivů současně:

- Uvažuje se působení pouze jednoho extrému s dobou návratu 10 000 let
- V případě extrémů s dobou návratnosti 100 let se uvažují pravděpodobně možné kombinace (současné působení)
- Nejsou uvažovány prakticky a fyzikálně nemožné kombinace (např. maximální teplota a extrémní sníh)
- V souladu s požadavkem na zahrnutí bezpečnostních rezerv je uvažována kombinace extrémního vlivu s dobou návratu 10 000 let v kombinaci s jedním dalším extrémním vlivem s dobou návratu 100 let.

Prostředky DAM jsou koncipovány jako diverzní (záložní) prostředky, které jsou pevně instalovány na místě a mají dostatečnou odolnost pro splnění výše uvedených základních kritérií. Další část DAM prostředků je koncipována jako alternativní (mobilní) prostředky, přičemž jsou umístěny nebo skladovány tak, aby byly negativní vlivy externích událostí vyloučeny (tedy diverzifikace vzdáleností nebo umístěním).

Pro zabezpečení požadavku na spolehlivost a dostupnost zařízení DAM pro splnění požadovaných funkcí musí být na lokalitě dostatečné kapacity zařízení pro zabezpečení všech funkcí na všech blocích na lokalitě, plus dodatečná rezerva (požadovaný počet „N + 1“, kde „N = 4“ je počet bloků na lokalitě). Je přijatelné mít „N“ zdrojů, které jsou navrženy pro podporu požadovaných funkcí pro všechny bloky (např. vzájemně zálohované SBO dieselgenerátory, schopné poskytnout napájení pro všechny funkce na jednotlivém bloku). V

tomto případě „N + 1“ jednoduše zahrnuje další zdroje napájení a odpovídající čerpadla, které spolu dohromady vytvářejí ekvivalentní kapacitu. Tento přístup je přijatelný, protože poskytuje více strategií pro splnění jednotlivé funkce (např. dva nezávislé způsoby pro napájení vody do parogenerátorů nebo pro obnovení napájení instrumentace). V tomto případě nemusí každé zařízení, určené pro každou strategii, plnit požadavek „N + 1“.

Je rovněž přijatelné mít jeden zdroj, jehož kapacita je dostatečná pro podporu požadovaných funkcí na více blocích (např. jedno čerpadlo schopné zabezpečit doplňování veškeré vody pro dvojblok). V tomto případě, může být „N + 1“ jednoduše zabezpečené čerpadlem dvojnásobné kapacity. Dále je rovněž přijatelné mít různé strategie pro plnění funkce (např. dva různé způsoby pro obnovení napájení instrumentace). V tomto případě zařízení pro zabezpečení každé strategie nemusí plnit požadavek „N + 1“

Veškeré existující zařízení (zdroje napájení, čerpadla a zásoby) je započítáváno do „N + 1“ za předpokladu, že splňuje stanovené požadavky na funkčnost, odolnost a skladování. Požadavek „N + 1“ platí pro diverzní a mobilní prostředky dohromady. Zajištění nejméně „N + 1“ kompletů zařízení DAM na lokalitě skladovaných na diverzifikovaných místech nebo v budovách navržených pro přiměřenou ochranu proti extrémním vlivům je základním požadavkem pro zabezpečení úspěšnosti strategií DAM.

19.2.4.2 SBO Dieselgenerátory

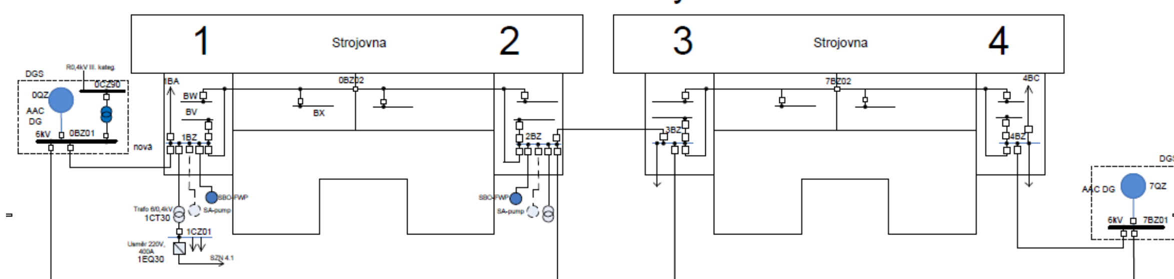
Pro získání schopnosti jaderné elektrárny Dukovany odolat události SBO v těžkých klimatických nebo seizmických podmínkách s konzervativně předpokládaným selháním projektových bezpečnostních dieselgenerátorů (3 x100% na každý blok), které jsou na mimořádné podmínky kvalifikovány, byly navíc doplněny diverzní zdroje střídavého elektrického napájení, tedy 2 dieselgenerátory SBO o výstupním napětí 6,3 kV a výkonu 3,2 MW. Dále je to tzv. síť SBO, sloužící pro distribuci jejich napájení. Diverzní zdroje jsou umístěné v areálu elektrárny. Jejich funkceschopnost nezávisí na stavu vnější sítě, pracovních, rezervních ani nouzových zdrojů zajištěného napájení. Diverzní zdroje jsou vzájemně vzdálené jak od hlavních výrobních bloků, tak i od dieselgenerátorů bezpečnostních systémů a jsou chráněny před extrémními klimatickými vlivy v předepsaném rozsahu. Současně jsou seizmicky odolné a klasifikovány jako BT3 podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. Tímto opatřením se snižuje pravděpodobnost, že budou tyto diverzní zdroje vyřazeny z funkce stejnou iniciační událostí, která způsobila ztrátu střídavého napájení lokality.

Každý z SBO dieselgenerátorů je instalován v sestavě, kterou tvoří tři kontejnery – zdrojový kontejner, chladicí kontejner a technologický kontejner. Sestava kontejnerů chrání instalovanou technologii před působením atmosférických vlivů, poškozením nebo zcizením, případně před manipulací nepovolanými osobami. Dále svojí konstrukcí a instalovaným příslušenstvím zajišťuje správnou funkci celého technologického celku, snížení hlučnosti vestavěných technologií na požadovanou mez a zajišťuje zejména odolnost proti působení extrémních vnějších vlivů.

SBO dieselgenerátor je instalován pro příslušný dvojblok, přičemž svým výkonem je schopen zajistit napájení potřebných spotřebičů na obou blocích. Dále je možno SBO dieselgenerátor propojit přes SBO síť i na dvojblok druhý. Je tak umožněna libovolná konfigurace napájení „z každého SBO dieselgenerátoru na každou rozvodnu elektrárny“.

SBO dieselgenerátory jsou nezávislé na dodávkách jakýchkoli vnějších médií nebo dodatečného zdroje elektrické energie a jsou vybaveny vlastním palivovým hospodářstvím. Okamžitá zásoba paliva vystačí na 8 hodin provozu při plném výkonu (bez zásahu obsluhy), přičemž v lokalitě je k dispozici zásoba paliva na několik týdnů provozu a obsluha je vybavena dostatkem technických prostředků k jeho doplnění.

Vyvedení výkonu SBO dieselgenerátorů je provedeno přes samostatnou rozvodnu 6 kV do zvláštní sítě SBO, kterou lze propojit se sítí zajištěného napájení II. kategorie. Manipulace na síti jsou ruční jak v případě sestavení schématu napájení (propojení na příslušnou sekci zajištěného napájení II. kategorie), tak v případě připojování jednotlivých spotřebičů a zatěžování dieselgenerátoru. Při jeho použití je tedy třeba vyřadit všechny automatiky a blokády, které řídí provoz systému zajištěného napájení II. kategorie v projektových stavech.



Obr. 149. Zjednodušené schéma AAC sítě JE Dukovany

0QZ, 7QZ – SBO dieselgenerátory

0BZ01, 7BZ01 – rozvodny 6 kV pro vyvedení výkonu SBO dieselgenerátorů

0BZ02, 7BZ02 – dvojblokové sběrnice AAC

19.2.4.3 Alternativní mobilní zdroje elektrické energie

Mobilní dieselgenerátory jsou určeny pro napájení jednotlivých částí technologie (např. čerpadel nebo dobíjení akumulátorových baterií) pro případ zničení nebo poškození jak projektových tak diverzních zdrojů. Jeho výkon je 150 kW a je umístěn na vlečném přívěsu (společně se zásobní nádrží nafty na 8 hodin provozu), taženém nákladním automobilem. Připojení mobilního dieselgenerátoru by bylo provedeno připravenou soustavou flexibilních propojů (umístěných na kabelovém přívěsu) mimo rozvodny JE Dukovany přímo na napájený spotřebič, přičemž dieselgenerátor disponuje čtyřmi jištěnými vývody 0,4 kV. Pokud by situace umožnila použití nepoškozené části rozvoden elektrárny, lze dieselgenerátor připojit i přímo na rozvodnu, což by umožnilo vyšší flexibilitu ovládání potřebných pohonů.

Pro umístění mobilního dieselgenerátoru jsou v areálu JE Dukovany vybrána místa, ze kterých je možno požadované prvky napájet. Konkrétní místo by bylo určeno podle stavu elektrárny tak, aby bylo dostupné (nezasažené iniciační událostí) nebo pomocí těžké techniky upraveno tak, aby bylo možno mobilní přívěsy na místo dopravit.

Obrázek mobilního DG.

19.2.4.4 Havarijní plnění bazénu skladování použitého paliva

Pro možnost plnění bazénů skladování použitého paliva, odtlakovaného reaktoru nebo sprchového systému TQ je k dispozici technické opatření, které umožňuje napojení mobilní techniky (čerpadla a cisterny) do rozvodů systémů mimo hermetickou zónu. Jedná se jednak o pevné nátrubky (systém TG) nebo připravené přípravky (systém TM a TQ).

Alternativní doplňování bude provedeno čerpadlem z požárního vozu, který bude přistaven u příslušných vrat koridoru, do koncových míst pomocí požárních hadic. Opětné doplnění požárního vozu je možné z nádrží demivody 1000 m^3, čiřičů v objektu chemické úpravny vody nebo z bazénů pod chladicími věžemi.

K manipulaci s armaturami na trasách systémů by bylo možno použít přenosné elektrocentrály a přenosné ovladače. Ovládání potřebných armatur je doplněno o připojovací místa (skříňka s konektorem). Sestava pro manipulace tak obsahuje přenosný ovladač pro ovládání rychločinných armatur a elektroarmatur, přenosnou kufříkovou elektrocentrálu, napájecí jednofázový kabel, ovládací kabely s konektory a nalisovanými špičkami a sadu svorek pro připojení ovládacího kabelu na žíly rozpleteného kabelu.

Další alternativní možností doplnění bazénu skladu použitého paliva je využití zásoby roztoku kyseliny borité v nejvýše umístěných barbotážních žlabech. Provedené opatření, které tento alternativní způsob umožní, se týká změny napájení armatur na trasách XL a TM na zajištěné, které umožní ovládání i z SBO dieselgenerátoru nebo alternativních mobilních dieselgenerátorů a seismického zodolnění příslušných tras.



Obr. 150. Mobilní benzínové čerpadlo pro alternativní plnění bazénu skladování použitého paliva (lepší jsem nenašel)

19.2.4.5 Systém likvidace vodíku při těžké havárii

V důsledku nehod spojených s únikem chladiva z primárního okruhu (nehody typu LOCA) může vznikat za určitých podmínek z reálných potenciálních zdrojů plynný vodík, který se uvolňuje do hermetického prostoru budovy reaktoru. Vodík může vytvořit s okolním kyslíkem směs schopnou hoření a za určitých podmínek dokonce exploze s nepříznivými tlakovými účinky na stavební konstrukce hermetického prostoru a na technologická zařízení uvnitř hermetického prostoru. V případě těžké havárie, kdy po zvýšení teploty v aktivní zóně začne docházet k reakci zirkoniového pokrytí palivových proutku s vodní párou, se množství vyvíjeného vodíku výrazně zvýší. Mechanismus vzniku vodíku je podrobněji popsán v kap. 19.2.3.4.

Pro snižování koncentrace vodíku uvnitř kontejnmentu reaktorových bloků EDU a tím zamezení vzniku exploze, je kontejnment každého bloku vybaven pasivními katalytickými rekombinátory vodíku. K detekci objemové koncentrace vodíku v atmosféře kontejnmentu a sledování účinnosti katalytických rekombinátorů slouží monitorovací systém koncentrace vodíku.

Na EDU jsou implementovány dva typy pasivních autokatalytických rekombinátorů vodíku, přičemž důvodem je postupné zodolňování kontejnmentu VVER 440 na těžké havárie. První systém rekombinátorů byl určen pro likvidaci vodíku v objemu, vznikajícím při projektových událostech (DiD 3) a nadprojektových událostech (DEC A) jako důsledek jeho uvolnění z chladiva primárního okruhu při LOCA a pokrytí paliva při přehřátí pokrytí paliva, které však nedosáhne podmínek těžké havárie. Jedná se o 17 kusů pasivních rekombinátorů SIEMENS, přičemž jejich výkon pro rekombinaci vodíku udržuje jeho koncentraci pod bezpečnou hranicí exploze.

V rámci dalšího zodolnění kontejnmentu proti účinkům těžkých havárií byl systém posílen o dalších 36 kusů výkonnějších rekombinátorů AREVA, které by zajistily dostatečně účinnou rekombinaci vodíku i v případě těžké havárie a vývinu vodíku při reakci zirkonia s vodou. Systém je navržen tak, aby rekombinace byla dostatečně rychlá a předešlo se úniku vodíku do záchytných plynojemů v pozdní fázi těžké havárie.

Při návrhu systému byly zohledněny následující podmínky:

- Distribuce vodíku uvnitř kontejnmentu
- Vysoká teplota rekombinátoru při jeho funkci, možnost odvodu tepla prouděním a vliv na okolní zařízení
- Vhodnost nosné konstrukce z hlediska stability a možnosti kotvení

- Ochrana rekombinátoru před mechanickým poškozením nárazem a před kontaminací
- Přístupnost pro účely revizí zařízení

Rekombinátory jsou schopny pracovat v podmínkách těžké havárie a jsou odolné vůči seismicitě v rozsahu, požadovaném pro DAM prostředky. Z pohledu klasifikace dle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. jsou rekombinátory zařazeny do BT 2.



Obr. 151. Provedení katalytického rekombinátoru vodíku

19.2.4.6 Systém lokalizace taveniny paliva v tlakové nádobě reaktoru

Lokalizace a stabilizace taveniny paliva je jedním ze základních cílů strategie zvládnutí následků těžkých havárií. Pro reaktory malého a středního výkonu se jeví jako nejefektivnější strategie lokalizace a stabilizace taveniny paliva v tlakové nádobě reaktoru prostřednictvím chlazení jeho vnějšího povrchu, které se provede úmyslným zaplavením šachty reaktoru v případě těžké havárie. Dosáhne se tím lokalizace a stabilizace taveniny paliva v tlakové nádobě a zabrání se nežádoucím jevům, doprovázejícím její selhání a následnou interakci taveniny paliva (Coria) s betonem okolních stavebních konstrukcí.

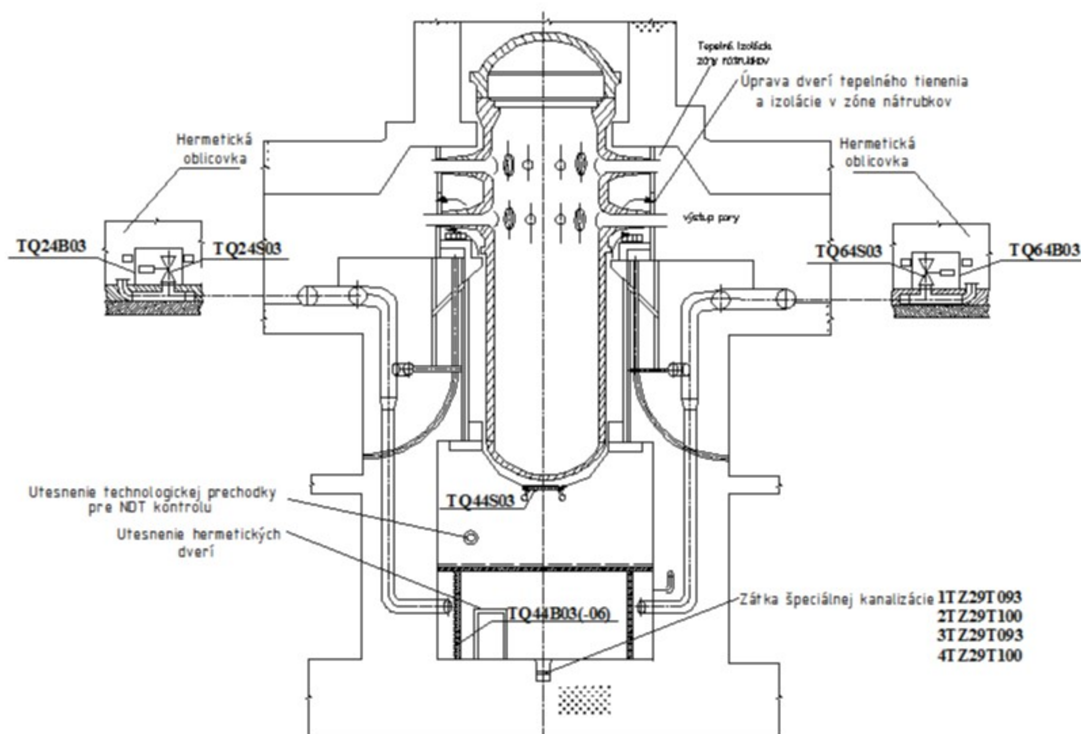
V případě reaktorů VVER-440 typV-213 sehrává důležitou roli i skutečnost, že nedojde k ohrožení integrity hermetického uzávěru ve stěně šachty reaktoru (v prostoru pode dnem reaktorové nádoby). Koncepce lokalizace a stabilizace taveniny paliva v TNR byla proto přijatá i na JE Dukovany, kde byly navrhnuty, zdůvodněny a vykonány nevyhnutné úpravy vybraných technologických zařízení a provozních předpisů.

Princip implementace je znázorněn na obrázku XX. „Schéma implementace opatření k zaplavení tlakové nádoby reaktoru zvenčí“. V principu se jedná o následující konstrukce:

- Sifóny na dvou vodorovných větvích vzduchovodů recirkulačního systému TL 11 s vtokovými armaturami TQ24S03 a TQ64S03. Účelem sifónů je zabránit úniku chladiva ze zaplavené šachty reaktoru do ventilačního centra na kótě -6,5 m. Účelem vtokových armatur je umožnit úmyslné zaplavení šachty reaktoru v případě těžké havárie vodou, shromážděnou na podlaze boxu parogenerátorů. Vtokové armatury jsou překryty mřížovou konstrukcí sloužící na odstranění hrubých úlomků a mechanickou ochranu nápustní armatury.
- Filtrační sítová konstrukce TQ44B03, 06. Účelem těchto zařízení, instalovaných v šachtě reaktoru, je odfiltrovat nečistoty z chladiva a zabránit tak ucpání varného kanálu mezi stěnou tlakové nádoby reaktoru a tepelnou izolací úlomky tepelné

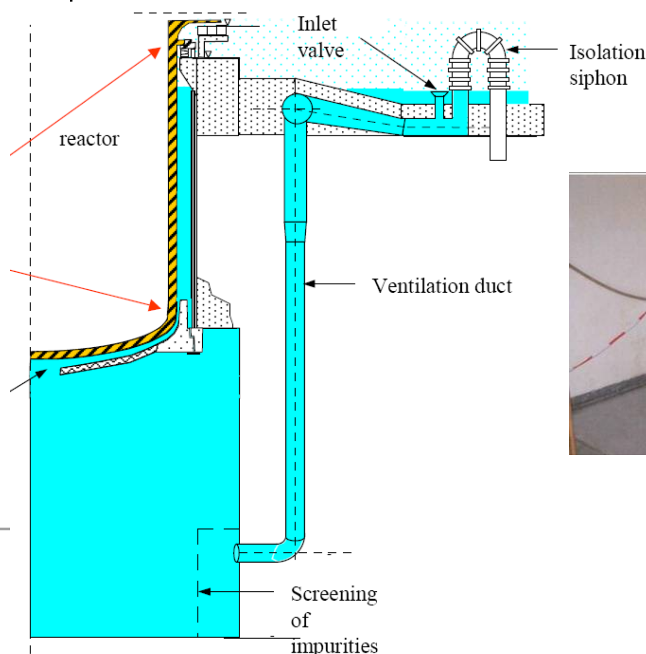
izolace, které by ve varném kanálu šachty reaktoru mohly zhoršit přestup tepla ze stěny nádoby do proudícího chladiva.

- Uzavírací talíř s pákovým mechanizmem a plovákem TQ44S03 v tepelné izolaci eliptického dna TNR. Účelem tohoto zařízení je umožnit přístup chladiva ze zaplavené spodní části šachty reaktoru k stěně tlakové nádoby. Z důvodu klíčové role uvedeného komponentu byl použit dvojitý plovákový mechanizmus, fungující na pasivním principu vztlakové síly chladiva, který významně zvyšuje spolehlivost otevření při zaplavení šachty reaktoru.
- Izolace jímky speciální kanalizace na podlaze šachty reaktoru TZ29T093. Toto opatření je nutné na zabránění nevratného úniku chladiva ze šachty reaktoru do systému speciální kanalizace bloku.

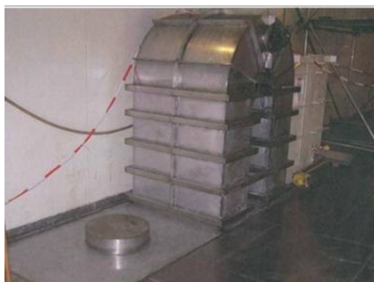


Obr. 152. Schéma implementace opatření k zaplavení tlakové nádoby reaktoru zvenčí

Systém zaplavení tlakové nádoby na JE Dukovany vyžaduje pro svou činnost odtlakování primárního okruhu a dostatečné množství chladiva na podlaze boxu parogenerátorů. Při některých iniciačních událostech (např. velká LOCA) je odtlakování primárního okruhu i potřebné množství chladiva zabezpečeno automaticky v důsledku chladiva, uniklého z primárního okruhu a bezpečnostních systémů. V jiných havarijních sekvencích je však nutné přistoupit k „manuálnímu“ odtlakování PO a drenážování žlabů operátorem.



Klasifikace jednotlivých komponentů byla provedena podle vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb. a komponenty byly zařazeny do BT 3.





Obr. 153. Ukázka provedení systému pro zaplavení šachty reaktoru – graficky vylepšit.